Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Harms

DER EINFLUSS DER UMGEBUNGSFELDGRÖSSE AUF DIE SCHWELLENLEUCHTDICHTEN FÜR WAHRNEHMUNG UND ERKENNEN DUNKLER PRÜFZEICHEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Eberhard Wolf
aus Dresden

1974

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Harms

DER EINFLUSS DER UMGEBUNGSFELDGRÖSSE AUF DIE SCHWELLENLEUCHTDICHTEN FÜR WAHRNEHMUNG UND ERKENNEN DUNKLER PRÜFZEICHEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Eberhard Wolf
aus Dresden

1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. E.Körber

Berichterstatter: Professor Dr. E.Aulhorn

Druck: Druckerei Haller 7102 Weinsberg
Buchdruck - Offsetdruck

Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Problemstellung 1

Definition einiger Begriffe 4

Untersuchungsprogramm 5

Methodik 6

I. Versuchsanordnung 6

II. Wahl des Prüfzeichens 8

III. Versuchsablauf 10

Ergebnisse 12

I. Untersuchungen im Netzhautzentrum 12

1. Leuchtdichteschwellen für Erkennen 12

2. Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung 13

II. Untersuchungen in der Netzhautperipherie 15

1. Leuchtdichteschwellen für Erkennen 15

2. Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung 16

Besprechung der Ergebnisse 18

I. Der Einfluß der Größe des Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Erkennen 18

II. Der Einfluß der Größe des Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung 20

Zusammenfassung 30

Literaturnachweis 33

Anhang mit Abbildungen . . . . . .

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546528_0038

Einleitung und Problemstellung

Damit ein bestimmter Gegenstand der Umwelt für das menschliche Auge sichtbar wird, muß er sich von seiner Umgebung abheben. Voraussetzung für dieses "Sichabheben" ist ein Leuchtdichteunterschied zwischen dem Gegenstand und seiner Umgebung. Diesen beim Sehvorgang auf unser Auge einwirkenden Leuchtdichteunterschied bezeichnen wir als physikalischen Kontrast. Es handelt sich um den physikalisch meßbaren Leuchtdichteunterschied zwischen Objekt und Umgebung. Dem Begriff nach ist er von dem physiologischen Kontrast zu unterscheiden, womit wir die subjektiven Empfindungen benennen, die beim Betrachten eines physikalischen Kontrastes auftreten. Der physiologische Kontrast kommt durch die sensorischen Eigenschaften unseres gesamten Sehorgans zustande, weshalb wir ihn nicht mit den physikalisch meßbaren Leuchtdichteunterschieden verwechseln dürfen. Als Beispiel für die Existenz des physiologischen Kontrastes sei hier angeführt, daß ein graugetöntes Feld bestimmter Größe und Leuchtdichte in heller Umgebung wesentlich dunkler erscheint als in dunkler Umgebung, obwohl es zu dieser Umgebung in beiden Fällen den gleichen physikalischen Leuchtdichteunterschied aufweist. Eine der Hauptursachen der Entstehung des physiologischen Kontrastes ist darin zu sehen, daß die in unmittelbarer Nähe der abgebildeten Konturen liegenden Netzhautelemente ihre Empfindlichkeit verändern. Zusammen mit zentral-nervösen Vorgängen in der Sehrinde resultiert entlang der Konturen eine Steigerung der Helligkeitsempfindung an Orten höherer Leuchtdichte gegenüber einer Senkung der Helligkeitsempfindung an Orten niederer Leuchtdichte. Die Folge ist, daß die Konturen deutlicher empfunden werden.

Wir steigerten bei unseren Versuchen, die den Einfluß der näheren Umgebung auf das Wahrnehmungs- und Erkennungsvermögen von Gegenständen klären sollten, die physikalischen Kontraste so lange systematisch, bis die Schwellenkontraste erreicht waren. In die gefundenen Ergebnisse spielt wahrscheinlich der physiologische Kontrast mit hinein, jedoch galt unsere Untersuchung nicht der Beobachtung desselben, sondern der Bestimmung der Netzhautempfindlichkeit. Wenn deshalb künftig von Leuchtdichteschwellen oder Schwellenkontrasten gesprochen wird, ist immer der physikalische Leuchtdichteunterschied im Versuchsfeld gemeint.

Bei unseren Versuchen verwendeten wir Quadrat-Kreis-Prüfzeichen. Diese wurden anderen Prüfzeichen vorgezogen, weil man mit ihnen unter gleichen Bedingungen Lichtunterscheidungsvermögen und Auflösungsvermögen der Netzhaut prüfen kann. (Siehe auch Ausführungen auf Seite 8). Erstmals wurden diese Prüfzeichen von A u l h o r n beschrieben ("Die Beziehung zwischen Lichtsinn und Sehschärfe"-1961). Ähnliche Untersuchungen wie die von A u l h o r n sind in der bisher bekannten Literatur nicht zu finden, da Untersuchungen der Sehschärfe und des Lichtsinns stets mit untereinander nicht vergleichbaren Methoden vorgenommen wurden; die Sehschärfe prüfte man durch Änderung der Größe der Prüfzeichen bei gleichbleibendem Kontrast, die Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE) durch Änderung des Kontrastes bei gleichbleibender Größe der Prüfzeichen.
Aus diesem Grunde beziehe ich mich in dieser Arbeit nicht auf frühere in der Literatur angegebene Quellen, die sich mit Lichtsinn und Sehschärfe befassen, sondern auf die grundlegende Arbeit von A u l h o r n, in welcher Lichtsinn und Sehschärfe am gleichen Prüfobjekt bei gleichen Untersuchungsbedingungen untersucht wurden.

Die Quadrat-Kreis-Prüfzeichen eröffnen 4 Möglichkeiten, zwischen Prüfzeichen und Umgebung einen Kontrast herzustellen. Diese 4 Varianten sind aus Abb. 1 zu erkennen. - Gehen wir von einer bestimmten Grundleuchtdichte aus, so entsteht das Prüfobjekt einmal durch Leuchtdichteänderung des Prüfzeichens gegenüber dem Hintergrund: es wird entweder heller oder dunkler als dieser. (Typ a und Typ c). Zum anderen kann das Prüfzeichen von der Reizleuchtdichte umgeben sein, wie dies Typ b und Typ d erkennen lassen: die nähere Umgebung des Prüfzeichens wird heller oder dunkler als die Grundleuchtdichte. Bei dieser Art der Darstellung entsteht an der Grenze zwischen Reizleuchtdichte und Grundleuchtdichte eine zusätzliche Kontur und ein das eigentliche Prüfzeichen umgebendes Feld - künftig Umgebungsfeld genannt.
Die Problemstellung dieser Arbeit ergab sich aus den Besonderheiten des zuletzt beschriebenen Prüfzeichens. Wir wollten feststellen, welche Rolle die Größe des Umgebungsfeldes, gemessen an der Beziehung Prüfzeichengröße - Reizleuchtdichte, spielte.

Unsere Untersuchungen wurden nur mit Prüfzeichen vom Typ b vorgenommen. Mit diesen bestimmten wir die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung und Erkennen. - Die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung wird gefunden, indem man die Reizleuchtdichte allmählich steigert bis bei einer bestimmten Stufe die Frage: "Ist etwas zu sehen oder nicht?" erstmalig bejaht wird. Wird die Reizleuchtdichte noch weiter gesteigert, so wird eine Stufe erreicht, bei welcher auf die Frage: "Ist es dieses oder jenes?" eine genaue Angabe über die Form des Prüfzeichens gemacht werden kann. Diesen Schwellenwert bezeichnen wir als Schwellenleuchtdichte für Erkennen.

Definition der Begriffe

Um Unklarheiten zu vermeiden, stellen wir einige Definitionen voran, die in der vorliegenden Arbeit zur besseren Abgrenzung der praktischen Gegebenheiten gebraucht werden.

Die Bezeichnung Umfeld wird in dieser Arbeit bewußt vermieden, um Verwechslungen mit dem Umgebungsfeld auszuschließen. Wir sprechen deshalb vom Hintergrund oder der Grundleuchtdichte. - Diese legt den Adaptationszustand des untersuchten Auges fest.

Auf dem Hintergrund wird das stets hellere Umgebungsfeld des Prüfzeichens abgebildet. Das Prüfzeichen ist innerhalb des Umgebungsfeldes ausgespart. Seine Leuchtdichte entspricht deshalb derjenigen des Hintergrundes.

Unter Reizleuchtdichte ist die Leuchtdichte des Umgebungsfeldes zu verstehen, welches nur kurzfristig dargeboten wird.

Unter Wahrnehmung des Prüfzeichens verstehen wir das Sichtbarwerden eines Leuchtdichteunterschiedes zwischen Prüfzeichen und Umgebungsfeld, ohne daß schon eine bestimmte Form erkannt wird.

Die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung ist die geringste Reizleuchtdichte, die zur Wahrnehmung führt. Die Bestimmung der Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung entspricht der Bestimmung der LUE, auch Lichtsinnprüfung genannt.

Von Erkennen des Prüfzeichens wird nur gesprochen, wenn die Prüfzeichenform richtig angegeben wird. Die Schwellenleuchtdichte für Erkennen entspricht der geringsten Reizleuchtdichte, die zur Erkennung der Form des Prüfzeichens führt. Die Bestimmung der Schwellenleuchtdichten für Erkennen ist damit eine besondere Form der Sehschärfeprüfung.

Untersuchungsprogramm

Abb. 2 zeigt eine tabellarische Übersicht, aus welcher alle Möglichkeiten der Größenbeziehungen zwischen Umgebungsfeld und Prüfzeichen hervorgehen. In der oberen Reihe sind die Durchmesser des kreisförmigen Prüfzeichens angegeben, an der linken Seite haben wir die Durchmesser des das Prüfzeichen umgebenden Feldes aufgetragen. Wir erkennen aus der Abbildung, daß nur die unterhalb der Diagonalen liegenden Kombinationen zwischen Prüfzeichendurchmesser und Umgebungsfelddurchmesser optisch darstellbar sind, da bei den oberhalb der Diagonalen liegenden Kombinationen das Umgebungsfeld kleiner als das Prüfzeichen sein würde. Uns stellte sich die Frage, ob es nötig ist, alle unter der Diagonalen liegenden Punkte zu prüfen, oder ob durch Herausfinden charakteristischer Untersuchungsreihen eine Beschränkung der Zahl der Versuche möglich ist.
Dabei kamen wir zu der Feststellung, daß mit der waagerechten Reihe am Fuß der Abbildung und der diagonalen Reihe Grenzsituationen gegeben sind, die eine erschöpfende Auskunft über die dazwischenliegenden Möglichkeiten geben können. In der waagerechten Reihe (Abb. 3 oben) haben die Prüfzeichen ein konstantes Umgebungsfeld von 2,5° Durchmesser, in der diagonalen Reihe (Abb. 3 unten) stehen Prüfzeichen- und Umgebungsfelddurchmesser in einem konstanten Verhältnis von 1/1,6. Unter der Voraussetzung, daß die durch die beiden Reihen bezeichneten Grenzsituationen bei der Prüfung der Leuchtdichteschwellen einen gleichen Kurvenverlauf erbringen, besteht kein Einfluß des Umgebungsfeldes. Verlaufen dagegen die beiden Kurven unterschiedlich, so muß man einen Einfluß des Umgebungsfeldes annehmen. In diesem Falle sollte man aus den Unterschieden der beiden begrenzenden Untersuchungsreihen auf die dazwischen liegenden Punkte der Abbildung rückschließen können.
Wir untersuchten die Beziehungen zwischen Umgebungsfeld und Prüfzeichen nicht nur im Netzhautzentrum, sondern gleichermaßen auf dem horizontalen Gesichtsfeldmeridian bei 5°, 10° und 15° nasal, um zu sehen, welchen Einfluß die verschiedenen Netzhautorte auf unsere Fragestellung ausüben.

Versuchsanordnung (Abb. 4)

Zur Darbietung des Prüfzeichens und seines Umgebungsfeldes verwendeten wir einen Diapositivprojektor, der es uns erlaubte, durch Vorschalten abgestufter Graufilter die Leuchtdichte des Umgebungsfeldes zu verändern. Das Diapositiv war so beschaffen, daß die Strahlen der Lichtquelle nur den Sektor des Umgebungsfeldes passieren konnten, während das Prüfzeichen in der Mitte ausgespart blieb und das Licht nicht durchließ. Die Leuchtdichte des Prüfzeichens selbst entsprach der stets gleichbleibenden Leuchtdichte des Hintergrundes. Als Projektionswand diente eine ca. 4 m breite und 1,5 m hohe Holztafel, welche mit einem feinen, weißen Leinwandgewebe bespannt war. Eine homogene Ausleuchtung des Hintergrundes wurde durch indirekte Beleuchtung der Projektionswand mit einem Reflektor erreicht, der so eingestellt war, daß die Hintergrundleuchtdichte 10 asb betrug. Der Reflektor war über dem Kopf der Versuchsperson angebracht, damit er sie nicht blenden konnte. Durch Benutzung dieser zwei voneinander unabhängigen Lichtquellen war es uns möglich, die Leuchtdichte des Umgebungsfeldes getrennt von der Grundleuchtdichte und der ihr gleichen Prüfzeichenleuchtdichte zu variieren.

Die E i c h u n g der Leuchtdichten erfolgte vor jedem Versuch mit einem Leuchtdichtemesser nach B e c h s t e i n. Die Leuchtdichte des Umgebungsfeldes betrug maximal 1000 asb, die Grundleuchtdichte und die Prüfzeichenleuchtdichte stets 10 asb. Durch Einschaltung zweier Graufilterserien, deren erste eine Abschwächung der Umgebungsfeldleuchtdichte in log. Dekaden, und deren zweite eine Abschwächung um 1/10 log. Dekade bewirkte, konnten 100 verschiedene Leuchtdichtestufen erzeugt werden. Die absoluten Leuchtdichtewerte lagen bei einer maximalen Ausgangsleuchtdichte von 1000 asb zwischen 1000 asb und 0,000001 asb.

Der Diapositivprojektor befand sich bei der Untersuchung des rechten Auges links von der Versuchsperson, bei Untersuchung des linken Auges rechts von der Versuchsperson, damit sich die Strahlengänge von Projektor und Auge bei Untersuchung der nasalen Gesichtsfeldperipherie nicht kreuzten. Außerdem befand sich so der Projektor nasal vom untersuchten Auge der Versuchsperson und konnte von dieser wegen des auf dieser Seite kleineren Gesichtsfeldes nicht wahrgenommen werden.

Als Fixierpunkt hatten wir bei Untersuchungen im Netzhautzentrum vier kleine, kreuzförmig angeordnete Punkte auf die Versuchswand geklebt, die das Projektionsfeld konzentrisch umgaben. Zur Untersuchung der peripheren Netzhautorte wurde ein kleiner, dunkler Fixierpunkt benutzt, der mit einer Reißzwecke an verschiedenen Stellen auf der Versuchswand angeheftet werden konnte.

Die Versuchsperson war von einer gleichmäßig ausgeleuchteten, mattweiß gestrichenen Wand umgeben, um sie dadurch gegen von außen einfallende Strahlen zu schützen und einen einheitlichen Adaptationszustand der gesamten Netzhaut zu gewährleisten. Der Kopf der Versuchsperson war durch eine Kinn-Stirn-Stütze fixiert. In der umgebenden Wand befand sich in Höhe der Augen eine rechteckige Öffnung, die einen freien Ausblick auf die 2,70 m vor der Versuchsperson befindliche Versuchswand gestattete.

Für die Versuche standen 3 Versuchspersonen zur Verfügung, mit denen die gleichen Versuchsserien durchgeführt wurden. Alle 3 Versuchspersonen waren emmetrop, ihre Sehschärfe betrug, bei einem Alter von 26, 23 und 16 Jahren jeweils 1,5 - 1,5 und 1,25, bestimmt mit dem Idem-Visusprojektor nach S c h o b e r. Die Versuche wurden monocular vorgenommen, wobei das nichtuntersuchte Auge mit einer lichtundurchlässigen Klappe verdeckt wurde.

Wahl des Prüfzeichens

Wie bereits in der Problemstellung angedeutet wurde, verwendeten wir bei unseren Versuchen zur Bestimmung der Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung und Erkennen Quadrat-Kreis-Prüfzeichen nach A u l h o r n. Die Prüfung der LUE verlangt ein Objekt, das auf möglichst kleinem Raum zusammengedrängt ist, da vom Netzhautzentrum zur Netzhautperipherie ein starkes Gefälle der Netzhautempfindlichkeit besteht und bei zu großem Prüfobjekt dieses auf Netzhautorte verschiedener Empfindlichkeit projiziert würde. Als einfachste Fläche, welche dieser Forderung entspricht, ist der Kreis anzusehen. Wie kann man aber einen Kreis zur Prüfung des Auflösungsvermögens heranziehen? Das ist nur möglich, wenn man bei der Prüfung eine Verwechslungsmöglichkeit in Gestalt eines zweiten Prüfzeichens anbietet. Von diesem zweiten Prüfzeichen muß man verlangen, daß es die gleiche LUE aufweist wie der Kreis, da das Zeichen sonst aufgrund der verschiedenen Helligkeit identifiziert würde. Gleiche LUE besteht nur für solche Objekte, die am gleichen Netzhautort gleiche Flächengröße aufweisen und in ihrer Form nicht zu sehr voneinander abweichen, da sie sich im anderen Falle bei Drehung um ihre Achse auf Netzhautbereichen verschiedener Empfindlichkeit abbilden würden. Deshalb sind für die Prüfung der Sehschärfe als Verwechslungsmöglichkeit nur solche Prüfzeichen geeignet, die der Kreisform nahekommen. Entsprechend dieser Forderung kommen alle Vielecke in Betracht, die im Verhältnis zum Kreis gleichen Flächeninhalt aufweisen. Da sich Vielecke in ihrem Sehschärfewert wesentlich unterscheiden - ein Viereck wird leichter als ein Achteck mit gleichem Flächeninhalt erkannt - wird man das Zeichen auswählen, das bei kleinster Ausdehnung am leichtesten erkannt wird. Das D r e i e c k als Vieleck mit der geringsten Eckenzahl kommt nicht in Frage, da die Differenz zwischen größtem und kleinstem Durchmesser so groß ist, daß eine merkbare Änderung der LUE-Schwelle hervorgerufen wird, wenn es in verschiedenen Stellungen auf Netzhautorte unterschiedlicher Empfindlichkeit abgebildet wird. Beim V i e r e c k besteht in jeder Stellung gleiche LUE, die Durchmesser weichen nur gering voneinander ab. Versuche mit Vielecken größerer Eckenzahl zeigten, daß sie wegen ihres höheren Sehschärfewertes schwieriger zu erkennen sind und demnach von vornherein größer gewählt werden müßten.

Die große Ausdehnung solcher Prüfzeichen erlaubt aber die Prüfung kleiner Netzhautareale nicht.

Für die Prüfung der Leuchtdichteschwellen der Wahrnehmung und des Erkennens sind also Quadrat und Kreis am besten geeignet, da sie der Forderung nach gleicher Ausdehnung bei gleichem Flächeninhalt am ehesten entsprechen, und bei wechselweiser Darbietung mit ihnen eine Sehschärfebestimmung möglich ist.

Versuchsablauf

Die Quadrat-Kreis-Prüfzeichen wurden durch Entfernung einer im Strahlengang des Diapositivprojektors befindlichen Metallplatte für mindestens 1 Sekunde auf die Versuchswand projiziert. Zwischen den einzelnen Darbietungen ließen wir etwa 2 Sekunden verstreichen, damit der belichteten Netzhautstelle genügend Zeit zur Readaptation blieb.

Vor Beginn des Versuchs sah die Versuchsperson etwa 15 - 20 Minuten auf die Versuchswand, um während des Versuchs sicher auf die Grundleuchtdichte adaptiert zu sein. Bei Einhalten dieser Adaptationszeit ist während des Versuchs eine immer konstante Netzhautempfindlichkeit anzunehmen.

Eine Versuchsreihe nahm im Durchschnitt 35 - 45 Minuten in Anspruch, wobei die Adaptationszeit nicht mitgerechnet ist.

Bei der Bestimmung der Leuchtdichteschwellen für W a h r n e h m u n g wurde so vorgegangen, daß wir zunächst mit unterschwelligen Leuchtdichten begannen und diese so lange steigerten, bis die Schwelle erreicht war. Unter den nun folgenden 5 Darbietungen waren 2 Fehldarbietungen. Letztere wurden so ausgeführt, daß zwar das zur Darbietung gehörende Schiebegeräusch am Diapositivprojektor entstand, der Strahlengang des Projektors jedoch nicht freigegeben wurde. Die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung galt dann als erreicht, wenn bei den 5 "Darbietungen" keine falsche Antwort gegeben wurde. Die Reihenfolge der Darbietungen wurde willkürlich gewechselt. Anschließend bestimmten wir die Schwellenleuchtdichte für E r k e n n e n des Quadrat-Kreis-Prüfzeichens (Sehschärfebestimmung), indem wir 10 x nacheinander in gleichfalls willkürlicher Reihenfolge Quadrat und Kreis anboten. Die Schwellenleuchtdichte für Erkennen galt dann als erreicht, wenn bei den 10 Darbietungen von der Versuchsperson keine falsche Angabe gemacht wurde.

Bei jeder Versuchsperson wurden vor den eigentlichen Versuchen einige Vorversuche zur Übung durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Schwellenleuchtdichten besonders der Netzhautperipherie mit zunehmender Übung ein niedrigeres Niveau erreichen, und somit dem Übungsfaktor eine gewisse Rolle bei den entstandenen Kurven zu gebilligt werden muß. Mit den Versuchen wurde erst dann begonnen, wenn mehrere Vorversuche in etwa gleiche Resultate erbrachten.

Die Eigenschaften des verwendeten optischen Systems zur Projektion der Prüfzeichen gestatteten es nicht, mit dem gleichen Projektorabstand Prüfzeichen größerer Durchmesser anzubieten. Um den Verlauf der Leuchtdichteschwellenkurven im Bereich größerer Prüfzeichen beurteilen zu können, mußten zwei weitere Projektorabstände B und C zu Hilfe genommen werden. Die dabei entstandenen Schwellenkurven konnten mit den bereits vorliegenden verglichen werden. Die Leuchtdichteschwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen, bei denen Prüfzeichendurchmesser und Umgebungsfelddurchmesser im Verhältnis 1/1,6 standen, sind in Abb. 5a für beide Projektorabstände (A + B) untereinander abgebildet. Man erkennt deutlich den Kurvenansatz (siehe auch besonders bezeichneter Punkt auf der Diagonalen der Abb. 2). Nebenstehend (Abb. 5b) sehen wir die Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen von Prüfzeichen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser von 380 Minuten (Projektorabstand C).

Diese Untersuchungen mit größeren Projektorabständen wurden lediglich zur Orientierung vorgenommen. Da sie keine neuen Erkenntnisse für die Fragestellung unserer Arbeit brachten, begnügen wir uns mit der Darstellung der Beispiele.

Ergebnisse

Bei der Art unserer Prüfzeichen, deren Konturen von der Reizleuchtdichte umgeben sind und deren Leuchtdichte derjenigen des Hintergrundes entspricht, ergab sich die Frage nach dem Einfluß der Größe des Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung und Erkennen. Die tabellarische Übersicht der Abb. 2 zeigte, daß die beiden angekreuzten Versuchsreihen sämtliche möglichen Kombinationen von Umgebunsgfeldgröße und Prüfzeichengröße begrenzen und somit auch Auskunft über die dazwischenliegenden Punkte geben können.

Bei der jetzt folgenden Darstellung der Versuchsergebnisse sollen die Versuchsreihen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser von $2{,}5^{\circ}$ denen gegenübergestellt werden, bei denen sich Prüfzeichendurchmesser und Umgebungsfelddurchmesser wie 1/1,6 verhalten. Wir erwarten aus diesem Vergleich die Beantwortung der Fragestellung unserer Arbeit.

Zur besseren Übersicht besprechen wir die Versuchsreihen getrennt nach den untersuchten Netzhautorten.

1. Untersuchungen im Netzhautzentrum

a. Leuchtdichteschwellen für Erkennen

Abb. 6 zeigt das Ergebnis der Sehschärfeuntersuchung beider Versuchsreihen im Netzhautzentrum. Man erkennt, daß beide Kurven trotz einer gewissen Streuung der Einzelwerte bei allen 3 Versuchspersonen ein gleiches Ergebnis haben, indem sie nicht nur die gleiche Form aufweisen, sondern auch weitgehend an gleicher Stelle liegen. Das Resultat kann dahingehend zusammengefaßt werden, daß die Größe des Umgebungsfeldes ohne Einfluß auf die Schwellenleuchtdichten für Erkennen des Prüfzeichens ist. Weiterhin dürfen wir daraus folgern, daß für die Erkennbarkeit des Prüfzeichens nicht das Produkt aus leuchtender Fläche und Leuchtdichte (Lichtstärke = C a n d e l a) von Entscheidung ist, sondern allein der Leuchtdichteunterschied, welcher an der Grenze zwischen Umgebungsfeld und Prüfzeichen die Kontur bildet.

b. Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung

Wir müssen vorwegnehmen, daß es bei den Prüfzeichen, die von der Reizleuchtdichte umgeben sind, zwei Möglichkeiten gibt, die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung zu bestimmen. Einmal kann man danach fragen, wann das helle Umgebungsfeld sichtbar wird, zum anderen danach, wann innerhalb der Konturen das eigentliche Prüfzeichen wahrgenommen wird. Welche Art der Prüfung für uns von Bedeutung ist und welche man mit den üblichen Bestimmungen der Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung vergleichen kann, sollte in einem Vorversuch geklärt werden. In diesem haben wir die Ergebnisse beider Prüfarten gegenübergestellt (Abb. 7). Es zeigt sich, daß bei der Frage nach dem hellen Umgebungsfeld die in das Koordinatensystem eingetragenen Prüfpunkte eine senkrecht auf der Abscisse stehende Gerade bilden. Die so gefundenen Schwellenwerte sind demnach unabhängig von der Größe der angebotenen Prüfzeichen. Die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung der von uns verwendeten Prüfzeichen, die größenmäßig zwischen 3′ und 60′ im Durchmesser liegen, hat also immer den gleichen Wert, wenn man nach dem hellen Umgebungsfeld fragt. Das dürfte so zu erklären sein, daß sich die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung nur dann ändert, wenn die Fläche des hellen Umgebungsfeldes sich wesentlich in ihrer Größe ändert, was bei unserem Versuch nicht der Fall war. Dagegen zeigt die rechte Kurve der Abb. 7 ein Verhalten, wie es bereits bei früheren Versuchen mit Prüfzeichen vom Typ a gefunden wurde. Unsere Fragestellung hatte jetzt gelautet: "Wann wird innerhalb des Umgebungsfeldes das dunkle Prüfzeichen sichtbar?" - Die so ermittelten Leuchtdichteschwellen sind eindeutig von der Größe des angebotenen Prüfzeichens abhängig, wie aus dem Kurvenverlauf ersichtlich ist. Sie stimmen mit den Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung anderer Prüfzeichen gut überein.

Nach diesem Vorversuch ergibt sich für unsere vergleichenden Untersuchungsreihen, daß nur die Fragestellung nach dem eigentlichen Prüfzeichen sinnvoll und vergleichbar ist. Alle folgenden Versuchsreihen sind deshalb durch die Versuchsfrage nach dem Vorhandensein des eigentlichen Prüfzeichens gewonnen. Die Gegenüberstellung der beiden Versuchsreihen zeigt folgendes Verhalten der Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung im Netzhautzentrum (Abb. 8):

Beide Versuchsreihen weisen einen Kurvenverlauf auf, bei dem das Wahrnehmungsvermögen der Netzhaut demjenigen entspricht, wie es in unserem Vorversuch und in Übereinstimmung mit Untersuchungsreihen andersgearteter Prüfzeichen ermittelt wurde. Es findet sich eine Abhängigkeit der Wahrnehmungsschwelle von der Größe der angebotenen Prüfzeichen, d.h. je kleiner wir das Prüfzeichen wählten, desto mehr Leuchtdichte war zu seiner Wahrnehmung erforderlich. Die Kurven unterscheiden sich jedoch durch eine unterschiedlich starke Abhängigkeit der Schwellenkontraste von der Größe des Prüfzeichens. Bei der Betrachtung beider Kurven fällt auf, daß sie bei Prüfzeichen mit großem und sehr großem Durchmesser einen gemeinsamen Ausgangspunkt haben. Dagegen kommt es zu einer stärker werdenden Abweichung im Kurvenverlauf, wenn wir uns die Schwellenwerte der kleinen und kleinsten Prüfzeichen ansehen, wobei die relativ zunehmende Größe der Umgebungsfelder bei Prüfzeichen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser offenbar die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung niedriger halten. Für die Wahrnehmung des Prüfzeichens, welches zu seinem Umgebungsfeld ein konstantes Größenverhältnis von 1/1,6 aufweist, wird dagegen relativ mehr Reizleuchtdichte benötigt, um die Schwelle zu überschreiten. Aus dem Auseinanderweichen der Kurven müssen wir schließen, daß die Größe eines das Prüfzeichens umgebenden hellen Feldes, die Schwellenleuchtdichte für Wahrnehmung des Prüfzeichens im Netzhautzentrum im Bereich der kleinen und kleinsten Zeichen beeinflußt. Offenbar spielt in diesen Bereichen nicht nur der Leuchtdichteunterschied entlang der Prüfzeichenkontur für die Wahrnehmung des Prüfzeichens eine Rolle, sondern auch von der Größe des benachbarten Umgebungsfeldes herrührende Einflüsse. Diese sollen später besprochen werden.

2. Untersuchungen in der Netzhautperipherie

Im zweiten Abschnitt unserer Versuchsergebnisse soll dargestellt werden, welchen Einfluß die Größe des Umgebungsfeldes auf die Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung und Erkennen des Quadrat-Kreis-Prüfzeichens in der Netzhautperipherie hat.

Durch entsprechende Verlagerung des Fixierpunktes auf der Versuchswand konnten die Prüfzeichen an den gewünschten Orten im Gesichtsfeld dargeboten werden. Wir haben stets das nasale Gesichtsfeld unserer Versuchspersonen untersucht, und zwar lagen die gewählten Untersuchungsorte bei 5°, 10° und 15° auf dem horizontalen Gesichtsfeldmeridian. Es werden wiederum, wie bei der Darstellung der Versuchsergebnisse im Netzhautzentrum, die Versuchsreihen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser von $2{,}5^{\circ}$ denen mit veränderlichem Umgebungsfeld gegenübergestellt.

a. Leuchtdichteschwellen für Erkennen

Abb. 9a-c bringen den Vergleich der beiden Versuchsreihen und lassen erkennen, daß die Kurven der Schwellenleuchtdichten für Erkennen an allen untersuchten Netzhautorten weitgehend nach Verlauf und Lage übereinstimmen. Je weiter in der Peripherie die Schwellenbestimmungen vorgenommen wurden, desto mehr Ausgangsleuchtdichte war am Fußpunkt der Kurven nötig. Weiterhin sieht man, daß der Kurvenverlauf mit zunehmendem Abstand des geprüften Ortes vom Netzhautzentrum immer flacher wird und daß besonders die kleinen und kleinsten Prüfzeichen in der Peripherie wesentlich schlechter erkannt werden. Das Endniveau der Sehschärfekurven wird mit zunehmender Excentricität früher erreicht, d.h. bei einem dem jeweiligen Netzhautort entsprechenden maximalen Sehschärfewert kann durch zusätzliche Steigerung der Leuchtdichte keine Verbesserung der Sehschärfeleistung mehr erreicht werden. Die Schwellenkurven verlaufen dann als Ausdruck der Begrenzung des Auflösungsvermögens parallel der Abscisse, was wahrscheinlich in der Netzhautstruktur begründet liegt. Der abscissenparallele Teil der Kurven kann nicht mehr als eigentliche Leuchtdichteschwelle bezeichnet werden.

Diese für den Einfluß eines hellen Umgebungsfeldes auf die Sehschärfe in der Netzhautperipherie gefundenen Ergebnisse stimmen mit den Sehschärfekurven überein, welche mit bisher üblichen Sehzeichen gewonnen wurden. Aus der Tatsache, daß die beiden Untersuchungsreihen von Prüfzeichen mit konstantem und veränderlichem

Umgebungsfelddurchmesser an verschiedenen Orten der Netzhautperipherie das gleiche Resultat haben, können wir folgern, daß die Größe eines das Prüfzeichen umgebenden Feldes ohne Einfluß auf die Schwellenleuchtdichten für Erkennen ist.

b. Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung

Abb. 10 a-c zeigt das Verhalten der Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung in der Netzhautperipherie für die beiden Versuchsreihen. Auch bei den Versuchen in der Peripherie galten die Voraussetzungen, die wir im Netzhautzentrum zugrunde legten. Es wurde also bei den Prüfzeichen mit konstantem und veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser immer nach der Wahrnehmung des eigentlichen Prüfzeichens gefragt welches von der Reizleuchtdichte umgeben ist.

Wie die Kurvenverläufe des Netzhautzentrums bereits andeuteten, fällt mit zunehmender Excentricität eine stärker werdende Abweichung in den Kurvenverläufen auf. Die Schwellenleuchtdichten beider Kurven sind für Prüfzeichen mit großem Durchmesser an den verschiedenen Netzhautorten in etwa gleich, aber im weiteren Verlauf wird die Neigung der Kurven mit variablem Umgebungsfelddurchmesser deutlich flacher, um schließlich auch ihren Maximalwert früher zu erreichen. Eine weitere Leuchtdichtesteigerung der Prüfzeichen bis auf 1000 asb bringt keine Änderung der erreichten optimalen Wahrnehmungsschwellen.

Aus dem beschriebenen Divergieren der beiden Schwellenkurven für Prüfzeichen mit konstantem und veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser geht hervor, daß für die Wahrnehmung des Prüfzeichens, das zu seinem Umgebungsfeld ein Größenverhältnis von 1/1,6 aufweist, mehr Reizleuchtdichte erforderlich ist, um die Schwelle zu überschreiten.

Je weiter wir uns vom Netzhautzentrum entfernen, desto mehr werden demnach die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung von der Größe des Umgebungsfeldes abhängig. Während im allgemeinen bei der Bestimmung der Schwellenleuchtdichten für helle Prüfzeichen auf dunklem Hintergrund kein Endpunkt der Kurven erreicht wird, da auch sehr kleine Prüfpunkte bei entsprechender Steigerung der Leuchtdichten noch wahrgenommen werden können (Sichtbarkeit von Sternen), verzeichnen wir bei unserer Art der Prüfzeichen für die Wahrnehmungsschwellen Endpunkte, die wir bisher nur von Sehschärfekurven kannten.

Die Schwellenkurven für Wahrnehmung zeigen einen deutlichen Abbruch bzw. Knick. Danach ist ein paralleler Verlauf der Kurven zur Abscisse anzunehmen, weil einerseits das nächstkleinere Prüfzeichen auch mit stärkeren Kontrasten nicht wahrgenommen werden kann, andererseits Prüfzeichen gleicher Größe auch bei stärkeren Kontrasten gleich gut gesehen werden können. Der parallele Verlauf der Wahrnehmungskurven täuscht allerdings nur eine Schwelle vor, denn in Wirklichkeit besteht in diesem Bereich keine direkte Beziehung mehr zwischen der Größe der Prüfzeichen und der Reizleuchtdichte. Wir befinden uns in einem optimalen Bereich der Reizleuchtdichten, wobei der Kurvenknick am Übergang zur Abscissenparallelität einerseits von der Form unserer Prüfzeichen, andererseits von strukturellen Gegebenheiten der Netzhaut abhängen dürfte.

Besprechung der Ergebnisse

Die Problematik dieser Arbeit ergibt sich aus den Besonderheiten der verwendeten Prüfzeichen zur Bestimmung der Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung und Erkennen. Sie bestehen darin, daß das eigentliche Prüfzeichen von der Reizleuchtdichte umgeben ist und daß an der Grenze zwischen Reizleuchtdichte und Grundleuchtdichte (Hintergrund) eine weitere Kontur auftritt. Es galt zu klären, ob eine Abhängigkeit zwischen der Größe des Umgebungsfeldes und den Schwellenleuchtdichten besteht, die zur Wahrnehmung oder zum Erkennen des eigentlichen Prüfzeichens führen. Die Beantwortung dieser Frage wird es gestatten, die Prüfzeichen vom Typ b anderen Prüfzeichen zu vergleichen und ihre Aussagekraft abzugrenzen.

Bei der Auswertung der im vergangenen Abschnitt dargestellten Versuchsergebnisse sollen die Kurven des Auflösungsvermögens von denen des Wahrnehmungsvermögens getrennt besprochen werden, da die enge Verknüpfung der beiden Funktionen und die sich daraus ergebenden mannigfaltigen Gesichtspunkte über den Rahmen der Fragestellung dieser Arbeit hinausgehen würden.

1. Der Einfluß der Größe des Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Erkennen

Zunächst gilt es zu klären, ob es sich bei unserer Art der Sehschärfeprüfung um eine mit den üblichen klinischen Prüfungen vergleichbare Methode handelt. Welche Beziehung besteht zwischen den klinisch gebräuchlichen Sehzeichen (Zahlentafeln, Haken, Landoltring) und den Quadrat-Kreis-Prüfzeichen?
Bei der klinischen Prüfung der Sehschärfe bleiben die Leuchtdichten von Prüfzeichen und Hintergrund in ihrem Verhältnis zueinander wie auch absolut immer gleich. Nur die Größe des Prüfzeichens wird solange vermindert, bis das Auflösungsvermögen der Netzhaut der Erkennbarkeit eine Grenze setzt. Vermindert man die Leuchtdichte von Prüfzeichen und Grund (z.B. schlechte Beleuchtung von Zahlentafeln), so wird die Sehschärfe entsprechend niedriger gefunden. Mit Erhöhung der Grundleuchtdichte können auch kleinere Sehzeichen erkannt werden. Allerdings läßt sich nach Erreichen einer bestimmten Mindestgröße des Prüfzeichens keine Sehschärfeverbesserung mehr erreichen, auch nicht durch weitere Steigerung der Leuchtdichte.

Die Abb. 11 (nach Aulhorn) stellt die Verhältnisse für den Landoltring dar. Eingezeichnet wurden mit weißen Pfeilen die für die üblichen klinischen Prüfungsmethoden verwendeten Leuchtdichtekontraste. Man ersieht daraus, daß eine Kontraststeigerung über den bei der klinischen Sehschärfeprüfung benutzten Kontrastbereich hinaus keine Verbesserung der Sehschärfe bringen kann. Der Leuchtdichtekontrast ist bereits optimal. Daß aber eine Abhängigkeit der Sehschärfe vom Kontrast besteht, zeigt der steil ansteigende Kurvenbereich.
Bei unseren Versuchen wurden durch Veränderung der Umgebungsfeldleuchtdichten die Kontraste in einem solchen Ausmaß verändert, daß die Kontraste der üblichen Sehschärfeprüfungen enthalten sind; gleichzeitig wird aber sichtbar, daß allein das Zusammentreffen von Mindestleuchtdichte und Mindestgröße zum Erkennen des Prüfzeichens führt.
Die Beantwortung der Frage nach dem Einfluß der Umgebungsfeldgrößen auf die Schwellenleuchtdichten für Erkennen ergibt sich aus Abb. 12, in welcher die Kurven der Schwellenleuchtdichten von konstantem Umgebungsfelddurchmesser denen von veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser in einem Bezugssystem gegenübergestellt wurden. Wir sehen 4 Kurvenscharen von jeweils 3 Versuchspersonen, welche von links nach rechts die Untersuchungen im Netzhautzentrum, bei 5°, 10° und 15° im nasalen Gesichtsfeld wiedergeben.
Während die Trennung der Kurvenverläufe nach Netzhautorten ganz deutlich sichtbar ist, bringen die beiden vergleichenden Untersuchungsreihen mit unterschiedlichem Durchmesser des Umgebungsfeldes ein praktisch gleiches Ergebnis.
Die Kurven, welche bei konstantem Umgebungsfelddurchmesser gewonnen wurden (ausgefüllte Prüfpunkte), liegen im Rahmen der zulässigen Streubreite an gleicher Stelle im Koordinatensystem wie diejenigen mit variablem Umgebungsfelddurchmesser. (umrandete Prüfpunkte der Abb. 12)
Wir dürfen aus diesem Ergebnis folgern, daß die Größe des Umgebungsfeldes auf die Erkennbarkeit der Prüfzeichen vom Typ b bei den von uns verwendeten Größenbeziehungen von Prüfzeichen und Umgebungsfeld keinen Einfluß hat. Entscheidend für die Erkennbarkeit unserer Prüfzeichen ist offenbar allein der Leuchtdichteunterschied entlang der Konturen derselben in Abhängigkeit von ihrer Größe.

2. Der Einfluß der Größe des Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung

Die Ergebnisse dieses Abschnittes, welche aus Abb. 13 hervorgehen, sind insofern überraschend, als sie im Gegensatz zu denen stehen, die beim Erkennungsvermögen der Netzhaut beschrieben wurden. Es findet sich eine deutliche Abhängigkeit der Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung von der Größe des umgebenden Feldes. Insbesondere fällt der Unterschied bei den kleinsten und kleinen Prüfzeichen auf, während die Abweichung bei den größeren Prüfzeichen nur geringfügig ist. Weiterhin ist kennzeichnend, daß die Kurven der Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung bei der vorliegenden Prüfmethode von einer bestimmten Prüfzeichengröße an stets parallel der Abscisse verlaufen, eine Eigenschaft, die in Anbetracht der Größe der Prüfzeichen bisher nur bei Prüfung der Schwellenleuchtdichten für Erkennen zutage getreten war. In diesem Zusammenhang interessiert uns besonders das Verhalten der Leuchtdichtekurven mit veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser. Die Maximalhöhe der Kurven wird 5° nasal bereits bei einem Prüfzeichendurchmesser von 3,8 ´erreicht. Aber auch die Schwellenkurven mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser von $2,5^{\circ}$ zeigen dieses Verhalten, es kommt allerdings nur in unseren bei 15° nasal gewonnenen Kurven deutlich zum Ausdruck. Besser ist dies aus einer Darstellung der Arbeit von A u l h o r n "Über die Beziehung zwischen Lichtsinn und Sehschärfe" zu ersehen (Abb. 14), da einerseits kleinere Prüfpunkte verwendet wurden, zum anderen auch Untersuchungen in der Netzhautperipherie bis zu 35° vorliegen. Die Ursache des abscissenparallelen Verlaufs der Wahrnehmungskurven wird in der besonderen Struktur der Netzhaut angenommen, indem die Größe des rezeptiven Feldes an der Stelle des Kurvenknicks möglicherweise der Größe des auf der Netzhaut abgebildeten Prüfzeichens entspricht.

Bezogen auf unsere Kurven ist anzunehmen, daß der abscissenparallele Anteil derselben auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden muß. Die Größe des rezeptiven Feldes kann aber lediglich den Abbruch der Kurven unserer Abbildungen bzw. ihren Übergang in abscissenparallelen Verlauf erklären, nicht jedoch das Auseinanderweichen der Kurven in Abb. 13, bevor sie abscissenparallel werden. Für dieses Verhalten muß eine andere Erklärungsmöglichkeit gefunden werden.

Vergleicht man die Prüfzeichen von konstantem Umgebungsfelddurchmesser mit denen mit veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser, so fällt auf, daß sich bei letzteren die Grenze des Umgebungsfeldes zum Hintergrund stets näher beim eigentlichen Prüfzeichen befindet. Auch nimmt bei diesen die Fläche der Reizleuchtdichte mit dem Quadrat der Entfernung vom Prüfzeichenmittelpunkt ab, je kleiner das Prüfzeichen ist. Dagegen ändert sich bei Prüfzeichen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser das Verhältnis der Flächen von Reizleuchtdichte und Prüfzeichenleuchtdichte zugunsten der Fläche der Reizleuchtdichte je kleiner das Prüfzeichen ist.

Eine rechnerische Überprüfung soll aufzeigen, ob die Änderung der Flächengrößen für die Erklärung des Verhaltens der Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung in Frage kommt. Grundlage unserer Berechnung soll die Annahme sein, daß im Falle der Abhängigkeit der Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung von der Größe der Reizfläche, die angebotene Lichtstärke (Candela) eine entscheidende Rolle spielt, entgegen der Überlegung, daß allein die Reizleuchtdichten entlang der Konturen für die Wahrnehmungsfähigkeit unserer Prüfzeichen verantwortlich sind.

Die Lichtstärke errechnet sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Fläche, nämlich

Leuchtdichte x Fläche = Lichtstärke (Candela)

Wir vergleichen 2 Prüfzeichengrößen unserer Versuchsreihen miteinander, wobei sich folgende Zahlen ergeben:

1. Prüfzeichendurchmesser 7,6′
2. Prüfzeichendurchmesser 48′

Die leuchtenden Flächen errechnen sich aus der Differenz der Flächen von Umgebungsfeld und Prüfzeichen. Für jede Prüfzeichengröße ergeben sich 2 verschieden große Flächen (I + II) entsprechend dem konstanten Umgebungsfelddurchmesser von $2{,}5^{\circ}$ und dem veränderlichen Umgebungsfelddurchmesser.

Für die Prüfzeichengröße 7,6′Durchmesser beträgt

die Fläche des leuchtenden Feldes I = 117,29 cm^2,

die Fläche des leuchtenden Feldes II = 0,45 cm^2.

Für die Prüfzeichengröße 48´ Durchmesser beträgt

die Fläche des leuchtenden Feldes I = 105,54 cm^2,

die Fläche des leuchtenden Feldes II = 18,12 cm^2.

Aus der Gegenüberstellung der leuchtenden Flächen I und II beider Stichproben geht eindeutig hervor, daß sich bei Multiplikation der errechneten Werte mit den in Frage kommenden Schwellenleuchtdichten, die nur wenige Stufen auseinanderliegen, sehr voneinander abweichende Werte der Lichtstärken ergeben. Bei einer strengen Abhängigkeit der Leuchtdichteschwellen von der Flächengröße müßten sich aber konstante Werte errechnen.

Als Fazit können wir herausstellen, daß der unterschiedliche Verlauf der beiden Leuchtdichtekurven für Wahrnehmung von Prüfzeichen mit konstantem und veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser also keinesfalls auf der Veränderung der Größe der Reizflächen, bzw. der angebotenen Lichtstärken beruht. Wir müssen somit nach anderen Ursachen des Auseinanderweichens der Schwellenkurven für Wahrnehmung suchen.

Mit der Größenabnahme der Prüfzeichen von veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser und der damit verbundenen Annäherung der zwei Konturen, die das Prüfzeichen vom Umgebungsfeld und das Umgebungsfeld vom Hintergrund trennen, ist eine gegenseitige Beeinflussung beider Grenzen anzunehmen. Frühere Untersuchungen von H a r m s und A u l h o r n über die Netzhautempfindlichkeit im Bereich zweier aneinander grenzender Felder verschiedener Helligkeit hatten gezeigt, daß dieselbe auffällig herabgesetzt ist (Abb. 15). Beiderseits der Grenzen ergab sich eine 20´- 30´ breite Zone, in welcher die LUE tiefer lag als nach den Leuchtdichten der beiden Felder zu erwarten gewesen wäre. Die stärkste Senkung fand sich direkt neben der Grenze. In weiteren Versuchen (Abb. 16) wurde die LUE im Bereich verschieden großer Kreisfelder jeweils auf schwarzem und weißem Grund untersucht. ("Studien über den Grenzkontrast" v. Graefes Archiv f. Ophthalmologie, Band 157, S. 3 - 23 (1955)) Das sogenannte "Grenzphänomen" zeigte sich an jeder Stelle des Randes der umschriebenen kontrastierenden Felder. Wurde das dunkle Kreisfeld schmaler als 1 - 1,5° gewählt, so stießen die gegenüberliegenden Grenzzonen aneinander, und die LUE erreichte in der Mitte des Feldes nicht mehr die Höhe die seiner eigentlichen Leuchtdichte entsprach, sondern lag umso niedriger, je kleiner das Kreisfeld gewählt wurde.

Bei Versuchen mit kontrastierenden Streifen konnten nur die schräg oder gerade der Prüfstelle gegenüberliegenden Punkte der Grenzzone ihre hemmende Wirkung entfalten, die weniger als 1° Abstand hatten. Dagegen war bei der Kreisform des kontrastierenden Feldes zu erwarten, daß entsprechend der Vielzahl der benachbarten Punkte stärkere Hemmungsvorgänge ausgelöst wurden, was sich auch bestätigte. Offenbar addiert sich die Hemmungswirkung aller benachbarten Grenzpunkte. Punkte höherer Leuchtdichte scheinen nach den Ergebnissen einen größeren Hemmungsimpuls auszusenden als Punkte geringerer Leuchtdichte. Bei weiteren Versuchen an verschiedenen Netzhautorten, mit unterschiedlichen Leuchtdichteunterschieden und verschiedenen Adaptationszuständen, zeigte sich, daß die Empfindlichkeitssenkung an der Grenze zweier verschieden heller Felder umso größer wird, je größer der Leuchtdichteunterschied der beiden Felder ist, je stärker das Auge helladaptatiert ist und je weiter entfernt vom Netzhautzentrum untersucht wird.

Übertragen wir diese Erkenntnisse auf unsere Schwellenkurven mit veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser, muß man annehmen, daß die Überschneidung der beiden Grenzzonen (Hintergrund/Umgebungsfeld und Umgebungsfeld/Prüfzeichen) von vornherein gegeben ist und daß mit abnehmender Prüfzeichengröße die Hemmungsimpulse additiv zunehmen. Bereits bei unserer Prüfzeichengröße 38´ Durchmesser werden sich an der Grenze zwischen Umgebungsfeld/Hintergrund - ganz abgesehen von den komplizierten Vorgängen im Bereich des eigentlichen Prüfzeichens - die Hemmungszonen überschneiden und mit Verkleinerung des Prüfzeichens in ihrer Hemmwirkung verstärken. Im Gegensatz dazu ist bei den Prüfzeichen mit konstantem Umgebungsfelddurchmesser von 2,5° ein hemmender Einfluß von der äußeren Begrenzung nicht zu erwarten, da sich die beiden Grenzzonen nicht berühren.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die höheren Schwellenwerte der Wahrnehmungskurven, bei denen sich Prüfzeichen/Umgebungsfelddurchmesser wie 1/1,6 verhalten, wahrscheinlich auf zusätzliche Hemmungsimpulse zurückzuführen sind, welche durch Überschneidung der Grenzzonen von Umgebungsfeld und Hintergrund im Bereich des Prüfzeichens wirksam werden.

Diese Hemmungsimpulse führen aber nicht nur zu einer Rechtsverlagerung der Wahrnehmungskurve, sondern auch zu einer früheren Abscissenparallelität. Mit anderen Worten könnte man sagen, daß die Hemmungsimpulse der Grenzzonen eine scheinbare Vergröberung des funktionellen Rasters und ein geringeres Wahrnehmungsvermögen für Prüfzeichen vom Typ b bewirken (Zunahme des Summationseffektes).

Man sollte allerdings nicht vergessen, daß die Untersuchungen über das Grenzphänomen eine sichere Aussage lediglich darüber zulassen, wie die Schwellen für zusätzliche Reize im Bereich von Grenzzonen verändert sind und nicht darüber, welche Erregungszustände sich im Grenzbereich abspielen. Um letztere handelt es sich aber bei allen unseren Prüfungssituationen, weshalb wir nur indirekte Aussagen über die möglichen physiologischen Vorgänge machen können.

In diesem Zusammenhang drängt sich eine weitere sehr wichtige Frage auf. Wenn der hemmende Einfluß der Grenzzonen die Wahrnehmungsfähigkeit für Prüfzeichen mit variablem Umgebungsfelddurchmesser herabsetzt, weshalb liegen dann die Kurven des Erkennungsvermögens (Sehschärfe), die im gleichen Versuchsablauf bestimmt wurden, am gleichen Ort wie diejenigen Kurven, bei denen der Umgebungsfelddurchmesser konstant blieb und für die wir die hemmenden Einflüsse der Grenzzonen nicht angenommen haben? Würde man nicht folgern dürfen, daß sich die vorausgesetzten hemmenden Impulse insbesondere auch auf die Fähigkeit der Netzhaut, Einzelheiten voneinander zu unterscheiden, auswirken?
Wie die folgenden Abschnitte zeigen, gelang uns keine eindeutige Beantwortung dieser Frage. Die angestellten Überlegungen können nur hypothetischen Charakter haben, ebenso wie die Erklärung des Auseinanderweichens der Wahrnehmungskurven durch die Annahme von hemmenden Impulsen. Es boten sich uns 3 Möglichkeiten der Erklärung des aufgeworfenen Problems an, die wir, ohne der Reihenfolge eine qualitative Bedeutung beizumessen, diskutieren wollen.
1. Vergleichen wir die Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen, so sehen wir, daß die Schwellen für das Erkennen höher liegen als die Schwellen für die Wahrnehmung. Das legt den Schluß nahe, daß das Erkennen an sich so große Kontraste erfordert, daß der schwellensteigernde Einfluß der Grenzzonen gar nicht mehr wirksam werden kann.

Anders formuliert bedeutet das, daß die hemmenden Impulse nach Überschreiten der Wahrnehmungsschwelle wegfallen und die Schwellenleuchtdichten für Erkennen dann einzig und allein vom Leuchtdichteunterschied an den Grenzen zwischen Prüfzeichen und Umgebungsfeld bestimmt werden.

2. Die direkten Beziehungen, welche zwischen Wahrnehmung und Erkennen eines Prüfzeichens bestehen, lassen sich nach AULHORN folgendermaßen formulieren: Die Schwellenleuchtdichten für Erkennen eines größeren Prüfzeichens und für das Wahrnehmen eines kleineren Prüfzeichens sind dann gleich, wenn das kleinere Zeichen und das Formkriterium des großen Zeichens die gleiche Flächenausdehnung besitzen. (Abb. 17) Als Formkriterium gilt der Eckkreis innerhalb eines Quadrates, der rein empirisch gefunden wurde. Der Durchmesser dieses Kreises als reziproker Wert ausgedrückt (in Winkelminuten), ergibt den Sehschärfewert des Quadrates, wenn es mit einem flächengleichen Kreis verglichen wird. Es zeigte sich bei den Untersuchungen von AULHORN eine Abweichung von dieser Gesetzmäßigkeit, die sich mit der Größenzunahme der Objekte verstärkte. Die Leuchtdichteschwellen für Erkennen lagen immer etwas niedriger, als nach der LUE für Wahrnehmung des entsprechenden Formkriteriums zu erwarten gewesen wäre. Um die Objekteinzelheit des Quadrates zu erkennen, müßte nur ein kleiner Teil der Gesamtfläche desselben vorhanden sein, während der übrige Teil der Fläche,vom Auflösungsvermögen her betrachtet, überflüssig ist und sich auf die Schwelle senkend auswirken könnte. Diese Ergebnisse stammen aus Untersuchungen mit Prüfzeichen vom Typ a.

Übertragen auf unsere Fragestellung und verknüpft mit unseren Feststellungen über mögliche Hemmungsimpulse könnte man folgendes sagen: Zur ERKENNUNG des Formkriteriums unserer Prüfzeichen vom Typ b bei einem veränderlichen Umgebungsfelddurchmesser ist eine geringere Leuchtdichte nötig, als für die WAHRNEHMUNG des entsprechend großen Prüfzeichens zu erwarten wäre. Die Ursache dürfte darin zu suchen sein, daß die Hemmungsimpulse, welche bei der Wahrnehmung des kleineren Prüfzeichens wirksam sind und von der Grenze Umgebungsfeld/Hintergrund ausgehen, bei der Erkennung des Formkriteriums nicht wirksam werden können, da das Umgebungsfeld des entsprechenden Prüfzeichens viel größer ist.

Andererseits fallen auch hemmende Impulse weg, welche von der Kreisform des Prüfzeichens ausgehen und die umso beträchtlicher sein können, je kleiner das Zeichen ist. Bei der Erkennung des Formkriteriums fehlt gewissermaßen die andere Hälfte der Grenze des Prüfzeichens, stattdessen findet sich ein freies Feld, welches Träger des Formkriteriums ist.

3. Es wäre möglich, daß wir bei unseren Untersuchungsbedingungen ein Auseinanderweichen der Schwellenkurven für Erkennen nicht erfaßt haben. Hinweise dafür ergeben sich aus Abb. 18, die der Arbeit von AULHORN entnommen wurde. Man ersieht daraus, daß auch für die Sehschärfekurven bei Prüfzeichen vom Typ b ein früherer Abbruch gegenüber denen vom Typ a gilt. Allerdings macht sich dieser Abbruch erst in der Netzhautperipherie jenseits von 20 ° bemerkbar. Die Sehschärfekurven der beiden Typen verlaufen weite Strecken aufeinander, und erst kurz vor ihrem Abbruch kommt es zu einem Auseinanderweichen von Typ a und b. Um also definitiv sagen zu können, die beiden Kurven für Prüfzeichen mit konstantem und veränderlichem Umgebungsfelddurchmesser liegen aufeinander, wären noch Untersuchungen in der Netzhautperipherie jenseits von 15° nötig.

Versucht man die wesentlichsten Punkte, die sich in der Diskussion des vorangegangenen Abschnittes über die Wirksamkeit der Hemmungsvorgänge auf das Erkennungsvermögen der Netzhaut herauskristallisierten, in eine Verbindung miteinander zu bringen, so erscheint unsere anfängliche Fragestellung mehr und mehr problematisch. Aus mehreren Gründen sind nämlich Zweifel an der Existenz einer speziellen Netzhautfunktion im Sinne der Formerkennung von Gegenständen anzumelden. Vielmehr hat man den Eindruck, daß das Erkennungsvermögen nur eine besondere Form der grundlegenden Netzhautfunktion des Lichtsinns-ist. Für diese Annahme sprechen folgende Ergebnisse:

Wir haben gesehen, daß zwischen den Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen eine direkte Beziehung besteht. Beide Schwellenkurven haben eine gleiche Form, nur mit dem Unterschied, daß die Schwellenkurven für Erkennen etwas stärker geneigt und nach rechts verlagert sind. Außerdem zeigen sie einen charakteristischen Kurvenabbruch, der mit der Begrenzung des Auflösungsvermögens der Netzhaut erklärt wurde. Besonders bemerkenswert wird der Zusammenhang jedoch durch die Annahme des empirisch gefundenen Formkriteriums (s. Seite 25).

Dieses macht uns die Dominanz des Lichtsinns auch für die Formerkennung von Prüfzeichen deutlich: zur Formerkennung eines Prüfzeichens ist die Wahrnehmung seines Formkriteriums erforderlich. Mit dieser Feststellung ergibt sich eine gewisse gedankliche Vereinfachung, indem man den fiktiven Begriff der Sehschärfe ausklammert und durch das Auflösungsvermögen der Netzhaut ersetzt. Konsequenterweise müssen wir natürlich auch die Schwellenkurven der Lichtwahrnehmung in bestimmter Weise dem Auflösungsvermögen der Netzhaut zuordnen, wenn wir die These von der Dominanz des Lichtsinns für die Formerkennung von Prüfzeichen aufstellen.

Die Schwellenkurven der Prüfzeichen vom Typ b geben einige Anhaltspunkte für einen fließenden Übergang zwischen Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen. Je näher die äußere Grenze des Umgebungsfeldes an das eigentliche Prüfzeichen heranrückt, desto mehr ähnelt die Schwellenkurve für Wahrnehmung den bekannten Sehschärfekurven, indem sie z.B. den charakteristischen Kurvenabbruch derselben aufweist. Man kann sich gut vorstellen, daß mit noch weitergehender Annäherung der Umgebungsfeldgrenzen und damit stärker werdenden Hemmungsimpulsen aus den Wahrnehmungsschwellenkurven sogenannte Sehschärfeschwellenkurven werden. Das größtmögliche Auflösungsvermögen der Netzhaut ist mit dem Abbruch der Schwellenkurven und ihrem abscissenparallelen Verlauf erreicht. Die Hemmungsvorgänge haben ein solches Ausmaß angenommen, daß bei einer gegebenen Grundleuchtdichte eine Schwellenüberschreitung durch gesteigerte Reizleuchtdichte nicht mehr erfolgen kann.

Dafür sprichtauch die Tatsache, daß im Bereich der großen und sehr großen Prüfzeichen die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung und Erkennen ganz dicht beieinander liegen. Wahrscheinlich ist das durch die fast gänzlich fehlende Hemmwirkung der Umgebungsfeld- und Prüfzeichengrenzen infolge ihrer großen Entfernung voneinander bedingt. Die Schwellenüberschreitung erfolgt nach Darbietung einer minimalen Reizleuchtdichte, welche in Abhängigkeit von der Grundleuchtdichte nicht unterschritten werden kann (auch nicht durch Vergrößerung der Prüfzeichen). Für das menschliche Sehvermögen besteht bei entsprechend großen Prüfzeichen praktisch kein Unterschied zwischen Wahrnehmungs- und Erkennungsschwellen.

Diese engen Verbindungen zwischen Wahrnehmungs- und Erkennungsvermögen lassen sich letztlich auf die gleiche Grundfunktion der Netzhaut zurückführen, wenn man die wechselnden Darbietungsbedingungen und die damit unterschiedlichen Hemmungsvorgänge im Bereich der Prüfzeichenkonturen berücksichtigt. Auf einen gemeinsamen vereinfachten Nenner gebracht, können wir vermuten, daß bei einer gegebenen Grundleuchtdichte der resultierende Adaptationszustand der Netzhaut den Mindestleuchtdichteunterschied zur Wahrnehmung eines Prüfzeichens betimmt. Dieses Prüfzeichen muß so gestaltet sein, daß im Bereich seiner Konturen Hemmungsimpulse nicht wirksam werden bzw. in Anbetracht ihrer geringen Effektivität vernachlässigt werden können. Unter solchen Bedingungen dürfen wir von einer absoluten Schwelle der Lichtwahrnehmung sprechen. Ihr Gegenpol wäre als die absolute Schwelle des Auflösungsvermögens der Netzhaut zu definieren. Sie kommt durch maximale Hemmungsiumpulse im Bereich der Prüfzeichenkonturen zustande, und keine Leuchtdichteerhöhung vermag den Schwellenwert zu verändern. Mit Abnahme der Hemmungsvorgänge bei der Größenzunahme der Prüfzeichen würde sich das Auflösungsvermögen der Netzhaut von seinem absoluten Wert entfernen und schließlich in die absolute Schwelle der Lichtwahrnehmung einmünden.

In gewisser Weise scheinen diese Feststellungen der allgemein anerkannten Annahme der Sehschärfebegrenzung durch das Netzhautraster entgegen zu stehen. Würde jedoch das Netzhautraster allein die Ursache der Sehschärfebegrenzung sein, so wäre die zunehmende Abflachung unserer Schwellenkurven und ihr allmählicher Übergang in abscissenparallelen Verlauf (asymptotische Annäherung) nicht zu erklären. Vielmehr müßte man bei alleiniger Abhängigkeit von einer angenommenen Rasterfunktion nach einem zunächst kontinuierlichen Sehschärfezuwachs ein plötzliches Abbrechen der Schwellenkurven erwarten. Daß dies nicht der Fall ist, haben wir gesehen. Wir möchten jedoch annehmen, daß unsere Erklärung des Zustandekommens der Begrenzung des Auflösungsvermögens nicht zwangsläufig ausschließt, daß dieser Vorgang auf dem anatomischen Korrelat eines Rasters ablaufen könnte. Es ist sogar wahrscheinlich, daß die angenommenen Hemmungsvorgänge entscheidend in die Begrenzung der Sehschärfe eingreifen, indem sie die Größe des funktionellen Rasters bestimmen.

In der Einleitung zu dieser Arbeit waren wir von dem Gedanken ausgegangen, daß das Vorhandensein eines Kontrastes die Vorbedingung für das Wahrnehmen und Erkennen eines Gegenstandes unserer Umgebung ist. Unsere Untersuchungen über den Einfluß von kreisförmigen Umgebungsfeldern auf die Schwellenkontraste der verwendeten Prüfzeichen hatten ergeben, daß kleine Umgebungsfelder die Wahrnehmungsfähigkeit verschlechtern. Dieses Ergebnis hat sicher nicht nur theoretische Bedeutung. Da es sich bei der Wahrnehmung um eine grundlegende Funktion des Lichtsinns handelt, kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß in vielen alltäglichen Situationen Bedingungen herrschen, wie sie bei unseren Untersuchungen vorgelegen haben. Als Beispiel wollen wir hier die unterschiedlichen Situationen an unseren Arbeitsplätzen, im Straßenverkehr, insbesondere auch unter erschwerten Bedingungen in der Dämmerung, anführen. Ganz unklar ist es noch, wie sich der Einfluß des Umgebungsfeldes bei Erkrankungen der Retina oder der Sehbahn auswirkt.

Um Sehbedingungen zu schaffen, welche die Hemmungsvorgänge benachbarter Grenzzonen ausschließen und damit die unterschiedliche Wahrnehmbarkeit an sich gleich kontrastierter Gegenstände, wäre es erforderlich, die kontrastierenden Flächen möglichst groß zu gestalten und nahe beieinander liegende Konturen zu vermeiden.

Zusammenfassung

Unsere Untersuchungen hatten zum Ziel, den Einfluß von kreisförmigen Umgebungsfeldern auf die Schwellenkontraste für Wahrnehmung und Erkennen (Lichtsinnprüfung und Sehschärfeprüfung bei standardisierten Bedingungen) von Prüfzeichen festzustellen. Wir verwendeten Quadrat-Kreis-Prüfzeichen, die von AULHORN erstmalig beschrieben worden sind. Es bestehen 4 Möglichkeiten, zwischen Prüfzeichen und näherer Umgebung einen Kontrast herzustellen. Durch Leuchtdichteänderung des Prüfzeichens, welches entweder dunkler oder heller als die Umgebung ist, sind 2 Möglichkeiten gegeben. Die anderen beiden ergeben sich, wenn man sich vorstellt, daß das Prüfzeichen von der eigentlichen Reizleuchtdichte umgeben ist und selbst die Leuchtdichte des Hintergrundes hat. In diesem Fall entsteht jedoch an der Grenze zwischen Reizleuchtdichte und Hintergrund eine weitere Kontur - das Prüfzeichen ist von einem kreisförmigen Feld (Umgebungsfeld) umgeben.

Den Einfluß der Größe dieses Umgebungsfeldes auf die Schwellenleuchtdichten für Wahrnehmung und Erkennen galt es festzustellen. Die Untersuchungen wurden sowohl im Netzhautzentrum als auch in der Peripherie bis 15° im nasalen Gesichtsfeld vorgenommen (horizontaler Gesichtsfeldmeridian). Es waren 2 Untersuchungsreihen bei jeder Versuchsperson erforderlich, wobei in der ersten ein stets gleich bleibendes Umgebungsfeld von 2,5° Durchmesser, in der zweiten ein im Verhältnis 1.6/1 zum Prüfzeichen variables Umgebungsfeld verwendet wurde.

Die Leuchtdichteschwellen für Erkennen (Sehschärfeprüfung) zeigten sowohl im Netzhautzentrum als auch in der Netzhautperipherie keinerlei Abhängigkeit von der Größe des Umgebungsfeldes, sie richteten sich allein nach der Größe des eigentlichen Prüfzeichens und der Position des untersuchten Netzhautortes.

Für die Erkennbarkeit der Prüfzeichen ist anscheinend allein der Leuchtdichteunterschied an der Grenze zwischen Umgebungsfeld und Prüfzeichen entscheidend.

Anders verhielten sich die Schwellenkurven für Wahrnehmung (Lichtsinnprüfung). Sowohl im Netzhautzentrum als auch in der Netzhautperipherie war für die Wahrnehmung der Prüfzeichen mit variablem Umgebungsfelddurchmesser mehr Leuchtdichte erforderlich, als für Prüfzeichen mit einem konstanten Umgebungsfelddurchmesser von 2,5°. Es zeigte sich somit, daß Prüfzeichen mit variablem Umgebungsfelddurchmesser schlechter wahrgenommen werden.

In der Diskussion dieses Ergebnisses kann bewiesen werden, daß es nicht die unterschiedlich große Reizfläche des Umgebungsfeldes ist, welche zu dem Auseinanderweichen der Schwellenkurven führt. Dagegen bietet sich eine Erklärung an, die mit dem Näherrücken der Konturen von Prüfzeichen und Umgebungsfeld bei variablem Umgebungsfelddurchmesser zusammenhängt. Frühere Arbeiten von H a r m s und A u l h o r n über das sogenannte "Grenzphänomen" hatten im Bereich zweier aneinander grenzender Felder eine auffällige Herabsetzung der Netzhautempfindlichkeit ergeben. Dabei wurde eine gegenseitige Einflußnahme der benachbarten, unterschiedlich beleuchteten Netzhautabschnitte durch Hemmungsimpulse angenommen. Diese Ergebnisse lassen sich auf unsere Untersuchungsergebnisse übertragen, wenn wir die Schwellenkurven für Wahrnehmung von Prüfzeichen mit variablem Umgebungsfelddurchmesser betrachten. Bereits bei einem Prüfzeichendurchmesser von 38´muß man eine Überschneidung der Hemmungszonen (Hintergrund/Umgebungsfeld und Umgebungsfeld/Prüfzeichen) annehmen, die mit abnehmender Prüfzeichengröße eine weitere additive Hemmwirkung auslösen dürfte.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die höheren Schwellen werte der Wahrnehmungskurven mit variablem Umgebungsfelddurchmesser wahrscheinlich auf Hemmungsimpulse zurückzuführen sind, welche durch Überschneidung der Grenzzonen von Umgebungsfeld und Hintergrund im Bereich des Prüfzeichens wirksam werden.

In diesem Zusammenhang wurde die Frage angeschnitten, weshalb die für die Wahrnehmungsschwellen zugrundegelegten Hemmungsvorgänge sich offenbar auf die Schwellenkurven für Erkennen (Sehschärfe) nicht auswirken. Als Erklärungsmöglichkeit bieten sich 3 unterschiedliche Argumente an:

1. Um die Schwellenleuchtdichte für Erkennen zu überschreiten, sind so hohe Kontraste erforderlich, daß der schwellensteigernde Einfluß der Grenzzonen nicht mehr wirksam werden kann und die Schwellenleuchtdichten dann allein vom Leuchtdichteunterschied an den Grenzen zwischen Prüfzeichen und Umgebungsfeld abhängig sind.

2. Das von A u l h o r n empirisch gefundene Formkriterium läßt sich beim Vergleich unserer Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen scheinbar nicht einordnen. Die Leuchtdichteschwellen für Erkennen (Wahrnehmung des Formkriteriums) liegen wesentlich tiefer als nach den Schwellenkurven für Wahrnehmung des dem Formkriterium gleich großen Prüfzeichens zu erwarten wäre.

Wir nehmen an, daß die bei der Wahrnehmung des der Größe des Formkriteriums entsprechenden Prüfzeichens wirksamen Hemmungsimpulse wesentlich stärker sind, als diejenigen, welche bei der Wahrnehmung des Formkriteriums innerhalb eines entsprechend größeren Prüfzeichens auftreten, dessen Leuchtdichteschwelle für Erkennen bestimmt werden soll.

3. Es wäre denkbar, daß unsere Untersuchungsbedingungen ein mögliches Auseinanderweichen der Schwellenkurven für Erkennen nicht erfassen, da wir nur bis 15° in der Netzhautperipherie untersucht haben.

Am Schluß der Diskussion werden die Schwellenkurven für Wahrnehmung und Erkennen auf festgestellte Gemeinsamkeiten untersucht. Diese lassen die Folgerung zu, daß es wahrscheinlich eine spezielle Netzhautfunktion im Sinne der Formerkennung nicht gibt. In Abhängigkeit von der Adaptation unter verschiedenen Leuchtdichtebedingungen kann man von einer absoluten Schwelle der Lichtwahrnehmung und einer absoluten Schwelle des Auflösungsvermögens für Prüfzeichen, die dunkler als ihre Umgebung sind, sprechen. Zwischen beiden liegen die Wahrnehmungsbedingungen für unsere Prüfzeichen, die durch unterschiedliche Hemmungsvorgänge in Abhängigkeit von ihrer Größe charakterisiert sind.

Aulhorn, E.: Über die Beziehung zwischen Lichtsinn und Sehschärfe v. Graefes Arch. 167, 4-74 (1964).

Aulhorn, E.: Psychophysische Gesetzmäßigkeiten des normalen Sehens. Ber. über die 66.Zus.kft.der DOG, Heidelberg (1964)

Aulhorn, E. und Harms H.: Untersuchungen über das Wesen des Grenzkontrastes Ber.über die 6o.Zus.kft.der DOG, Heidelberg (1965)

Aulhorn, E., Harms, H. und Raabe, M.: Die Lichtunterschiedsempfindlichkeit als Funktion der Umfeldleuchtdichte. Documenta Ophthalm.20 (1966)

Comberg, W.: Beitrag über "Lichtsinn". Kurzes Handbuch der Ophthalm Bd. 2 (1932)

Dannheim, F.: Über die Untersuchung der Dunkelanpassung mit hellen und dunklen Prüfpunkten. Med.Diss.Tübingen

Dreyer, V.: On visuel contrast thresholds. V. The influence of the background area on thresholds, determindd by the method of constant stimuli.Acta ophthalm.39 (1961)

Harms, H.: Die Bedeutung einer einheitlichen Prüfweise aller Sehfunktionen. Ber.Dtsch.Ophthalm.Ges. 1961.281-285.

Harms, H. und Aulhorn, E.: Studien über den Grenzkontrast.I.Mitt.: "Ein neues Grenzphänomen". v.Graefes Arch. 157, 3-23 (1955).

Harms, H. und Aushorn, E.: Über Lichtempfindung und Lichtempfindlichkeit beim Grenzkontrast und über seine Beziehungen zur Sehschärfe. VI.Intern.Kongreß f.Optik, München (1962)

Hartmann, E.: Der Einfluß der Umfeldgröße auf die Detailwahrnehmung. Lichttechnik 18, 79-81 (1966).

Schober, H.: Das Sehen, Bd.I 3.Aufl. (1960), Bd.II 2.Aufl. (1958).

Verriest, G. und Ortiz-Olmedo, Arturo: Étude comparation du seuil differentiel de luminance et de l'exposant de sommation spatiale pour des objets pleins et pour des objets annulaires de mêmes surfaces. Vision Res.Vol. 9 pp.267-292 (1969).

Abb. 1: Die 4 verschiedenen Varianten des Quadrat-Kreis-Prüfzeichens.- Reihenfolge von links: Typ a, b, c und d

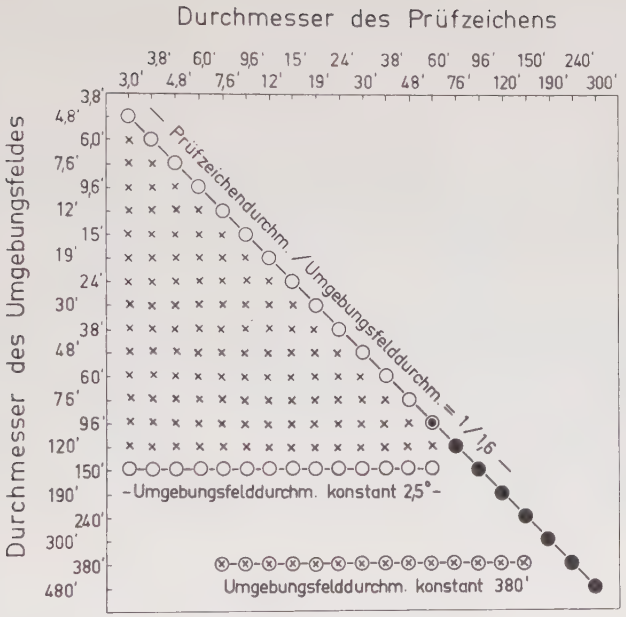
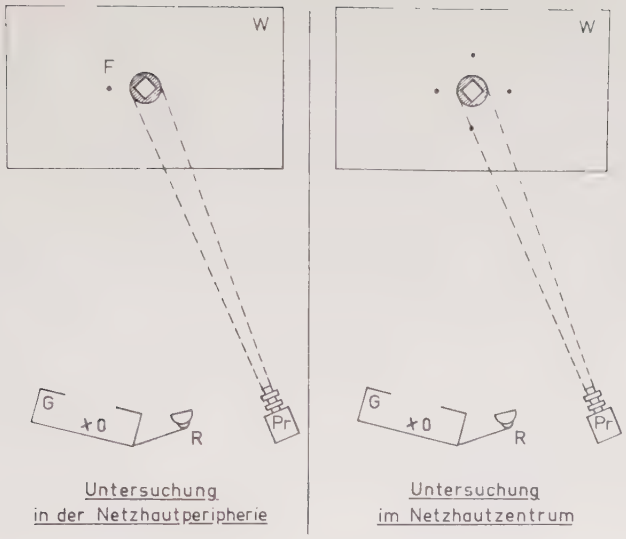


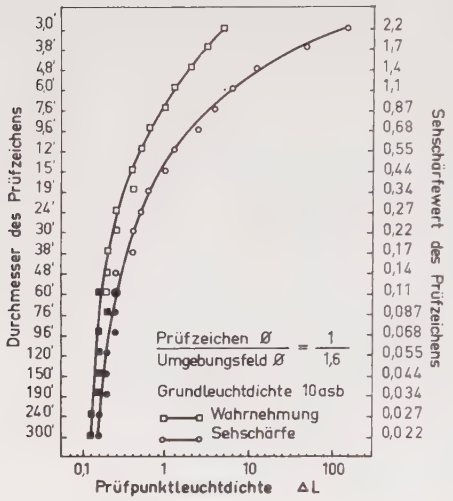
Abb. 2: Die Kombinationsmöglichkeiten der Größenbeziehung zwischen Umgebungsfeld und Prüfzeichen.

Abb. 3: Schematische Darstellung der beiden Untersuchungsreihen für konstanten (oben) und variablen (unten) Umgebungsfelddurchmesser.



W Projektionswand, weiss
F Fixierpunkt auf d. Proj. wand
G Gehause, welches die VP umgab
O Standort des untersuchten Auges der VP
R Reflektor zur indir Ausleuchtung d Umfeldes
Pr Prufzeichenprojektor

Abb. 4: Aufbau der Versuchsapparatur.



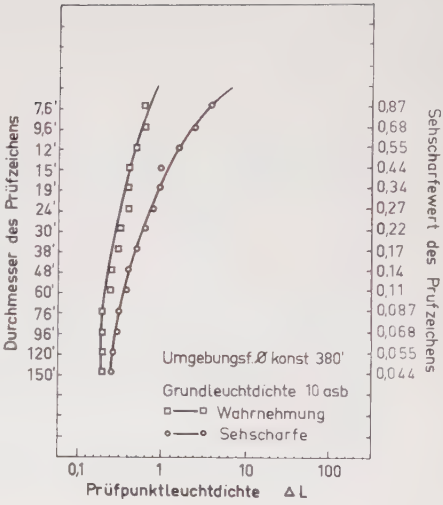


Abb. 5a: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung und Erkennen bei variablem Umgebungsfeld.

Abb. 5b: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung und Erkennen bei konstantem Umgebungsfeld von 380′ Durchmesser.

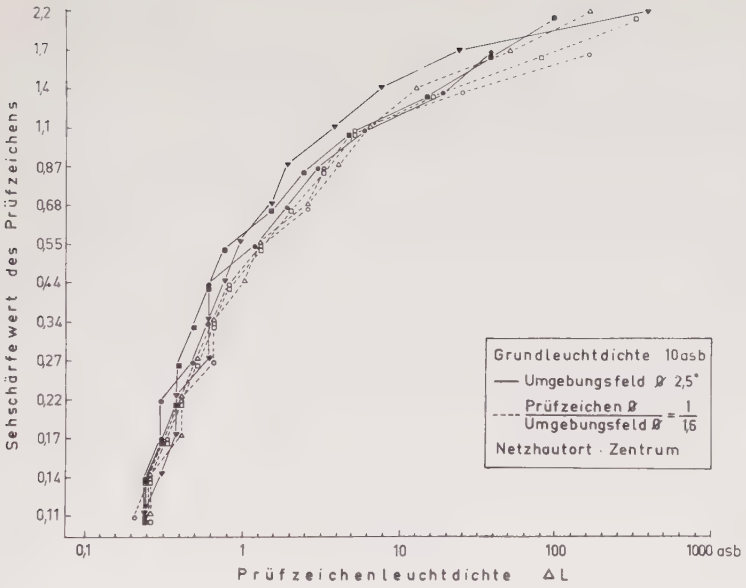


Abb. 6: Leuchtdichteschwellen für Erkennen im Netzhaut-
zentrum (konstanter und variabler Umgebungsfelddurchmesser).

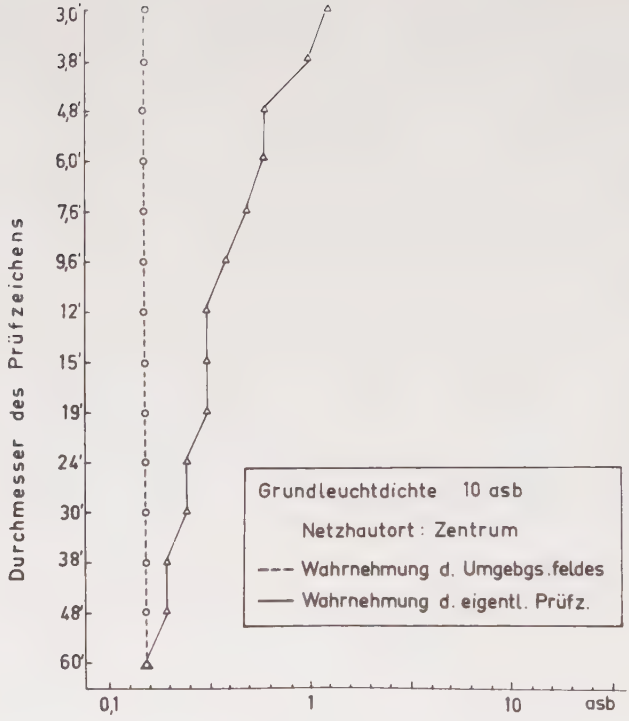


Abb. 7: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung des Umgebungsfeldes und des eigentlichen Prüfzeichens.

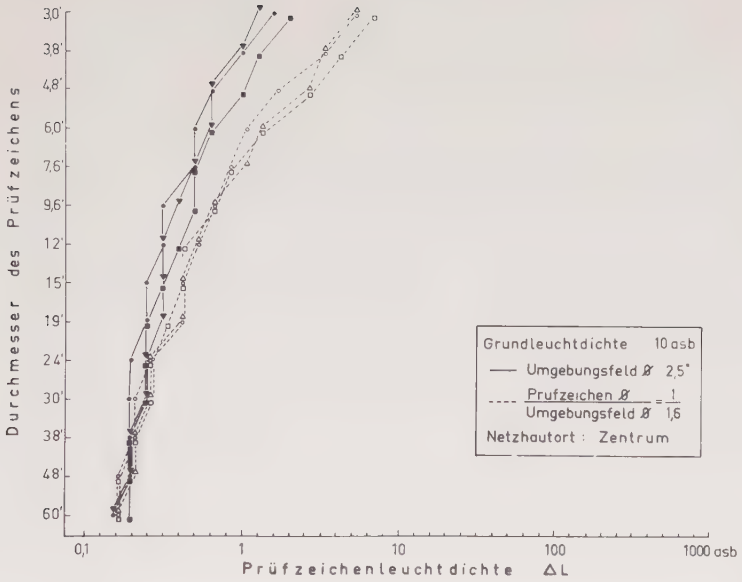


Abb. 8: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung im Netzhautzentrum (konstanter und variabler Umgebungsfelddurchmesser)

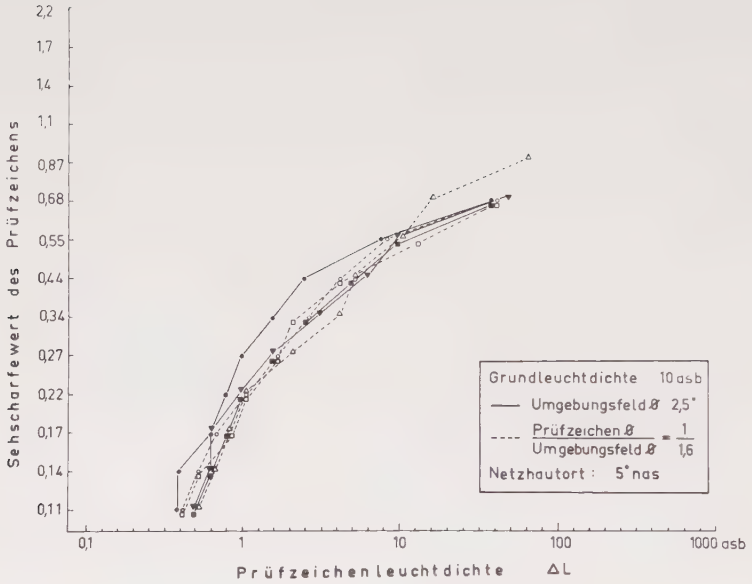


Abb. 9a: Leuchtdichteschwellen für Erkennen in der Netzhautperipherie (5° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

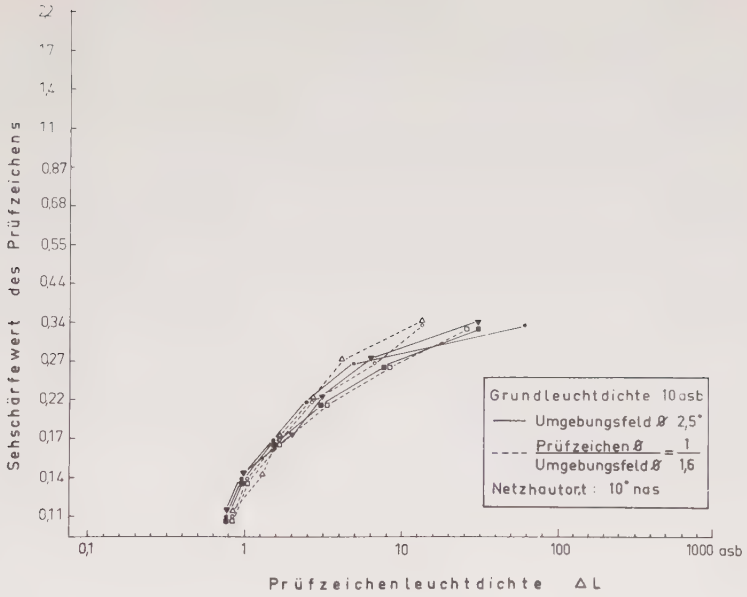


Abb. 9b: Leuchtdichteschwellen für Erkennen in der Netzhautperipherie (10° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

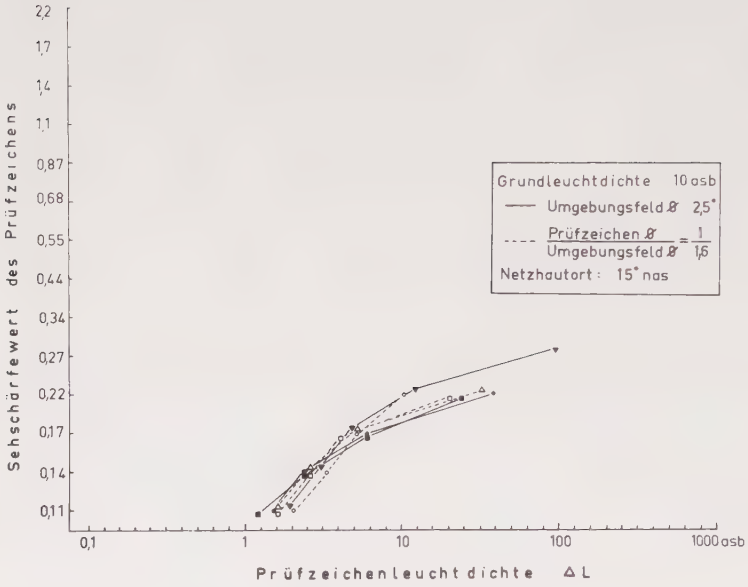


Abb. 9 c: Leuchtdichteschwellen für Erkennen in der Netzhautperipherie (15° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

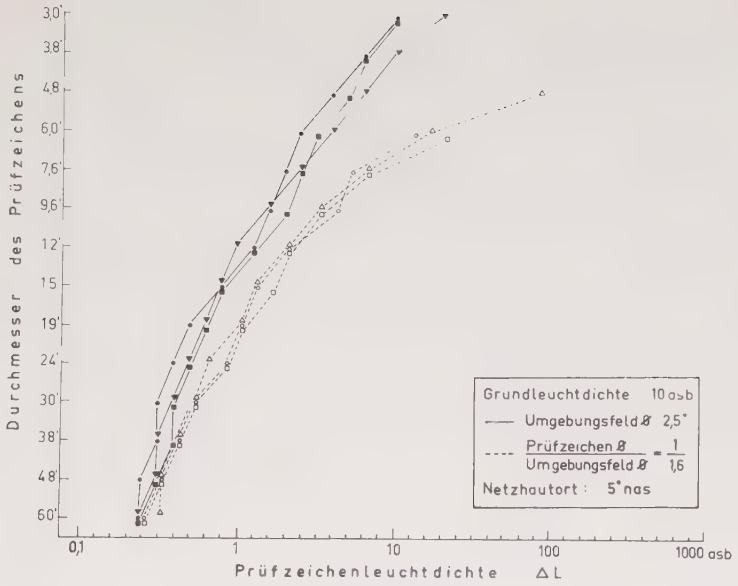


Abb. 10a: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung in der Netzhautperipherie (5° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

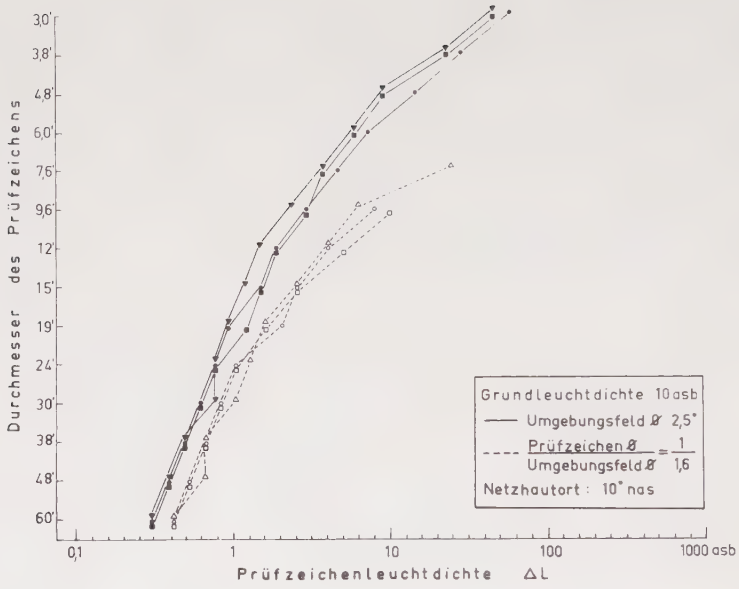


Abb. 10b: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung in der Netzhautperipherie (10° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

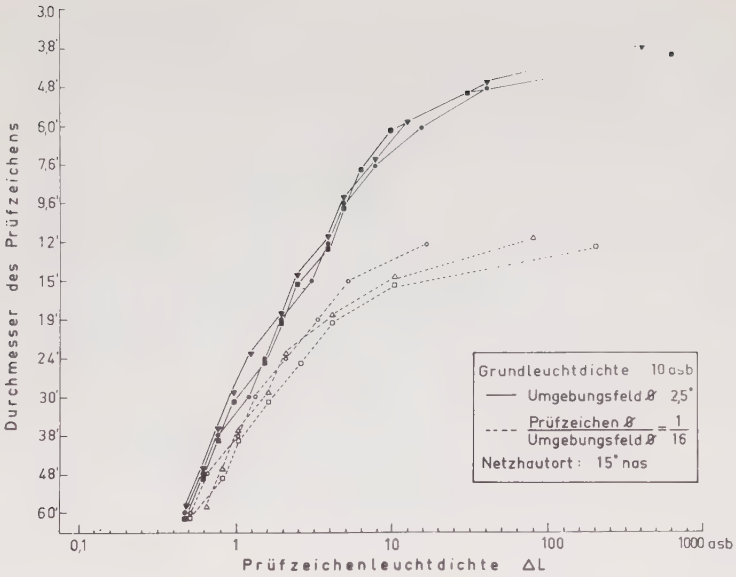


Abb. 10 c: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung in der Netzhautperipherie (15° nasales Gesichtsfeld) bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

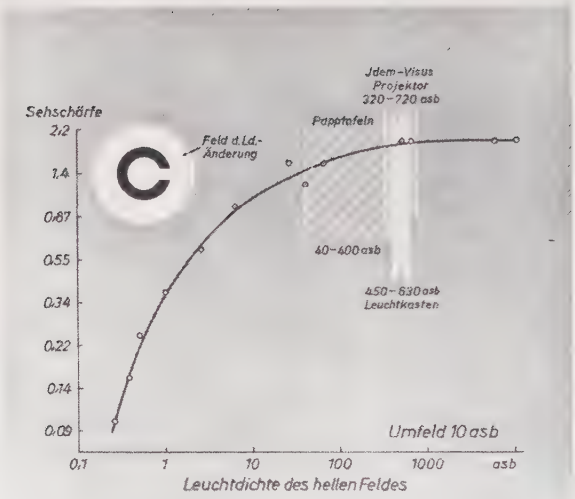


Abb. 11: Leuchtdichteschwellen für den Landoltring in Abhängigkeit von dessen Größe. Die Leuchtdichtebereiche der üblichen Sehproben sind eingezeichnet (nach A u l h o r n).

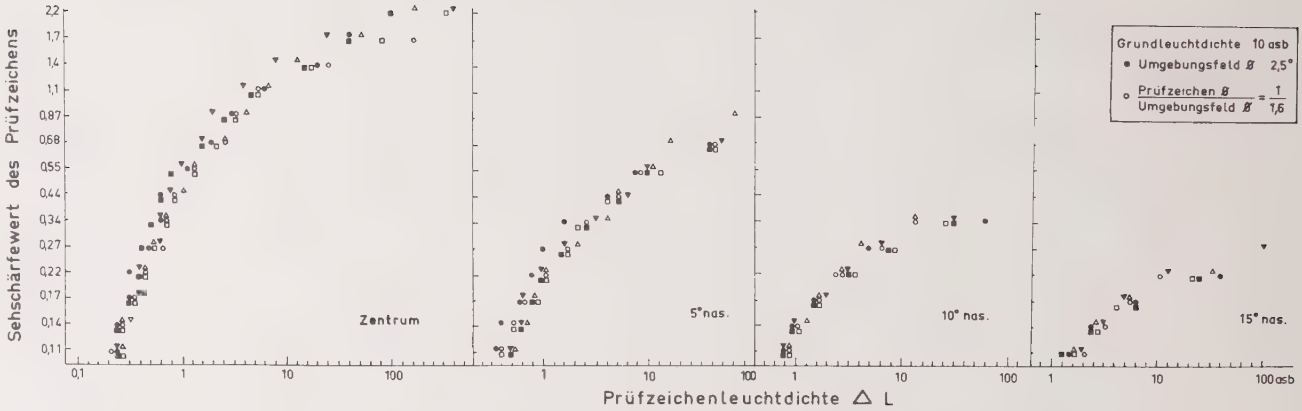


Abb. 12: Leuchtdichteschwellen für Erkennen im Netzhautzentrum und in der Netzhautperipherie bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

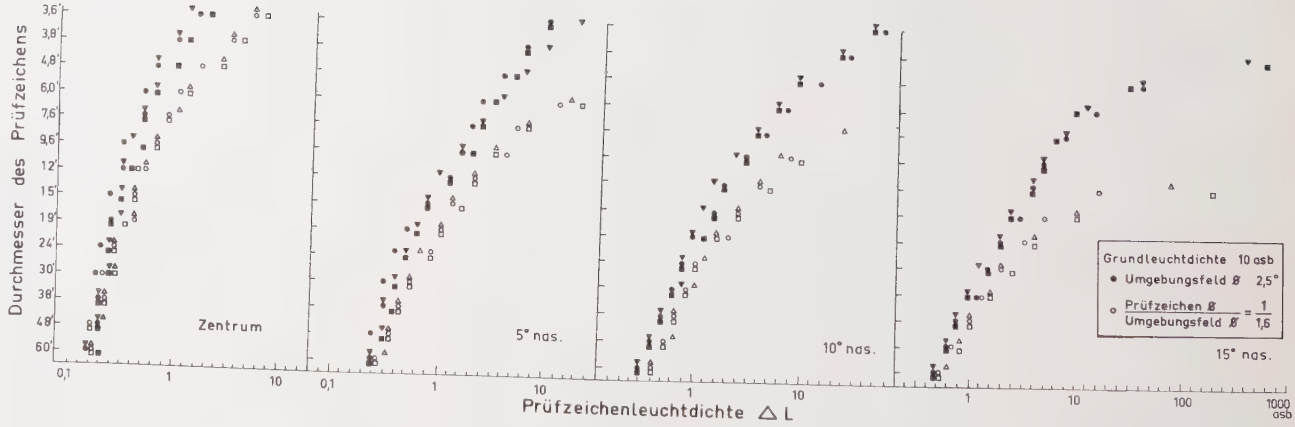


Abb. 13: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung im Netzhautzentrum und in der Netzhautperipherie bei konstantem und variablem Umgebungsfeld.

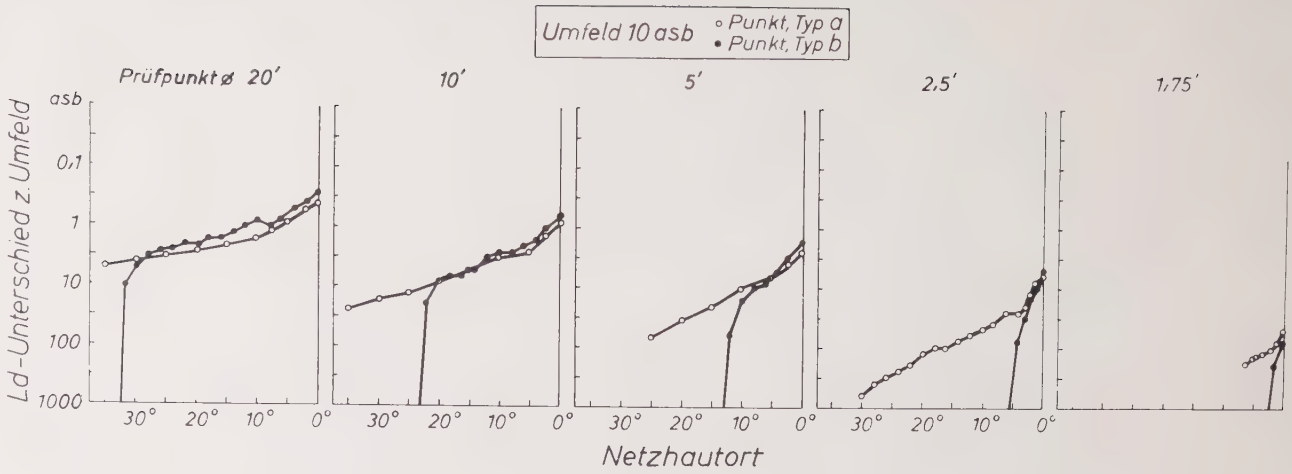


Abb. 14: Leuchtdichteschwellen für Wahrnehmung von hellen punktförmigen Prüfzeichen Typ a und Typ b entlang der nasalen Hälfte des horizontalen Netzhautmeridians (nach A u l h o r n).

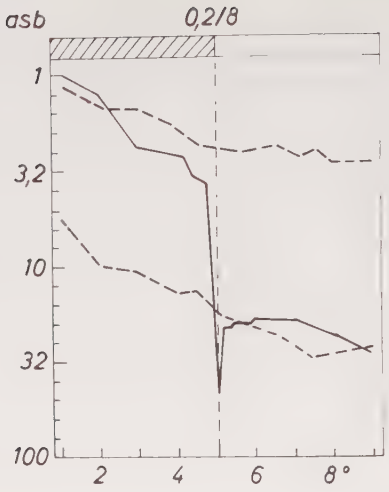


Abb. 15: Lichtunterschiedsempfindlichkeit im Bereich zweier aneinander grenzender Felder verschiedener Helligkeit im 0° - Meridian. Die Grenze ist bei 5° nasal der Netzhautmitte abgebildet. Zum Vergleich: unterbrochene Empfindlichkeitskurven bei einheitlicher Grundleuchtdichte von 0,2 asb (oben) und 8 asb (unten).

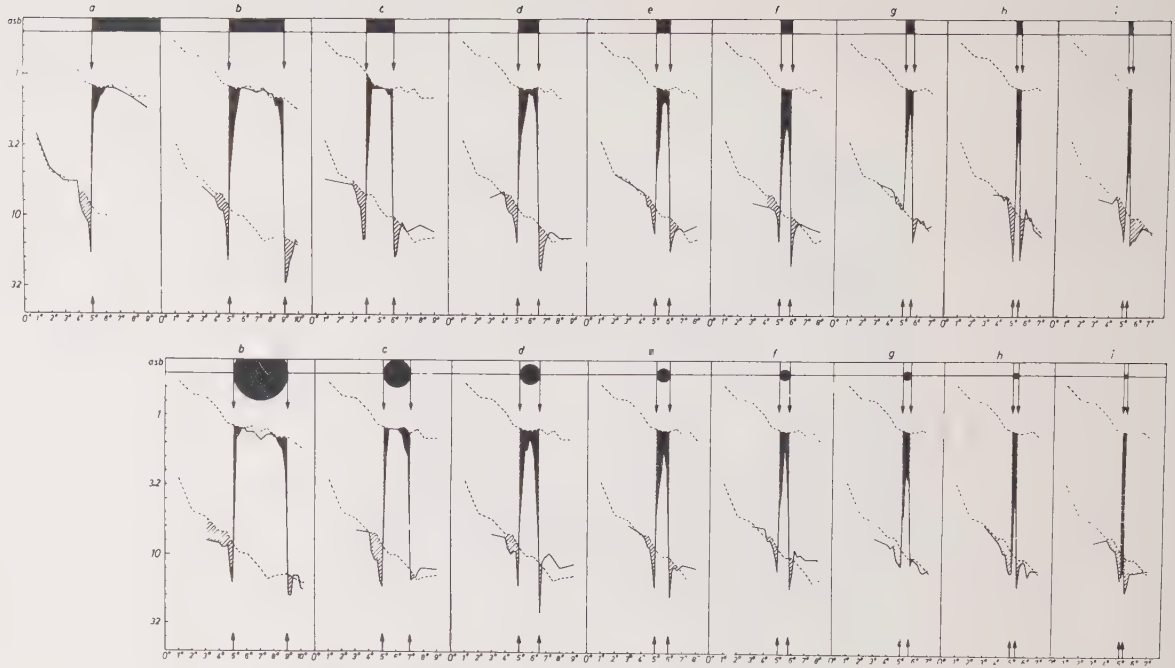


Abb. 16: LUE bei Darbietung verschieden geformter kontrastierender Felder abnehmender Breite auf gleichmäßigem Grund. Untersuchung der nasalen Hälfte des horizontalen Meridians. Der temporale Rand der kontrastierenden Felder liegt stets bei 5^{o} nasal. Empfindlichkeitskurven für gleichmäßig schwarzen und gleichmäßig weißen Grund sind unterbrochen eingezeichnet. Schematische Darstellung der Versuchsanordnung jeweils am oberen Rand (nach H a r m s und A u l h o r n).

Abb. 17: Fläche des Quadrates und seines Formkriteriums (nach A u l h o r n)

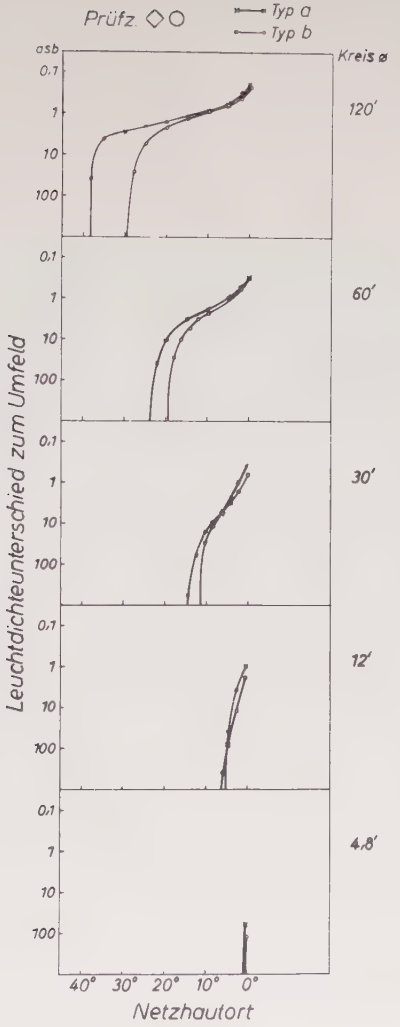


Abb. 18: Leuchtdichteschwellen für Sehschärfe entlang der nasalen Hälfte des horizontalen Netzhautmeridians. Hintergrund 10 asb, helle Prüfzeichen Typ a und b. (nach A u l h o r n)

Lebenslauf

Am 29.1.1936 wurde ich, Eberhard Wolf, als Sohn des Bankkaufmanns Arno Wolf und seiner Frau Johanna, geb. Hilliger, in Dresden geboren. Ab 1942 besuchte ich die Volksschule, später die Oberschule in Dresden, wo ich 1954 die Reifeprüfung ablegte. Von 1954 bis 1955 war ich am Stadtkrankenhaus Dresden-Johannstadt in der Krankenpflege tätig. Anschließend besuchte ich in Berlin-Wilmersdorf einen Ergänzungslehrgang für Abiturienten und erwarb im Oktober 1956 die Hochschulreife für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Ab 1956 studierte ich an der Universität Tübingen Medizin. Hier bestand ich 1959 das Physikum und legte am 19.12.1962 das Staatsexamen ab. 1965 erhielt ich die Approbation als Arzt und bin seither als Assistenzarzt an der Medizinischen Klinik der Städtischen Krankenanstalten Heilbronn tätig.
An der Universitäts-Augenklinik Tübingen befaßte ich mich mit der Ausarbeitung der vorliegenden Dissertation.